Aus der Universitäts-Augenklinik Homburg/Saar
Direktor: Prof. Dr. med. H.-J. Schlegel

Über die Beeinflußbarkeit der Fusionsbreite durch periphere Netzhautreize und ihre Abhängigkeit von der Bildgröße

INAUGURALDISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde der
HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
DER UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

vorgelegt von
KARIN EICK

Saarbrücken 1970

Dekan: Prof. Dr. med. G. Dhom
Referent: Prof. Dr. med. H.-J. Schlegel

Aus der Universitäts-Augenklinik Homburg/Saar
Direktor: Prof. Dr. med. H.-J. Schlegel

Über die Beeinflußbarkeit der Fusionsbreite durch periphere Netzhautreize und ihre Abhängigkeit von der Bildgröße

INAUGURALDISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde der
HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
DER UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

vorgelegt von
KARIN EICK

Saarbrücken 1970

Dekan: Prof. Dr. med. G. Dhom
Referent: Prof. Dr. med. H.-J. Schlegel

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Die mündliche Promotionsprüfung wurde am 24. Juli 1970 abgelegt.

Meinem Vater und dem Andenken
meiner Mutter
gewidmet

INHALT

	Seite
EINLEITUNG	1
LITERATURÜBERSICHT	
Augenbewegungen	5
A) Zur sog. Ruhelage der Augen	7
B) Heterophorie	10
C) Raddrehungen	14
Fusion	17
Fusionsbewegungen	22
Fusionsmechanismus	29
Fusionsbreite, -reserve, -vergenzfähigkeit	31
Fusionszeit	37
Fusionswinkel	39
Fusionskraft	41
Fusionsblickfeld	42
Fusionsbereich	42
Aufmerksamkeit - Fusion	42
Die Wertigkeitsklassifikation des Binokularsehens	44
Frustrane Fusion	47
Nachinnervation	47
Nativisten, Empiristen	49
Fusionszentrum	52
Zentrale Vorgänge beim Binokularsehen	54

Seite

Fusionsstörungen durch exogene Faktoren 62

"Fusionsreaktion" 64

Fixation disparity, Retinal slip,
Subnormales Binokularsehen 65

Induzierter Effekt
Induzierter Größeneffekt 68

Horror fusionis 70

Netzhautperipherie 71

Einordnung der eigenen Arbeit
in die vorliegende Literatur 76

EIGENE UNTERSUCHUNGEN

Allgemeine Versuchsbedingungen 80

Erste Versuchsreihe 88

Versuchsanordnung 88

VersuchI 93

Versuch II 94

Versuch III 94

Versuch IV 99

Schwankungen bei Fusionsmessungen 102

Konstanz der Fusionsbreite 102

Zweite Versuchsreihe 105

DISKUSSION 113

ZUSAMMENFASSUNG 117

LITERATURVERZEICHNIS 119

DANKSAGUNG 140

LEBENSLAUF 141

EINLEITUNG

Der Begriff der Fusion wurde im vergangenen Jahrhundert aus der Lehre von den Augenbewegungen geboren. Unter Führung von DONDERS (1848), GRAEFE (1857,1880), PANUM (1858), NAGEL (1861), HELMHOLTZ (1865) und HERING (1868) begann man, das geometrisch-optische, das motorische und das sensorische Prinzip des Gesichtssinnes systematisch zu analysieren.

Das hauptsächliche Anliegen lag darin, die Lehre vom Sehen aus summarischen, oft psychologischen Interpretationsvorstellungen herauszuführen und lediglich reproduzierbare, d.h. weitgehend objektivierbare Untersuchungsmethoden zuzulassen. Die richtungsweisenden Arbeiten dieser Epoche machten das Phänomen des Sehens zu einem gemeinsamen Studienobjekt von Physiologen, Anatomen, Ophthalmologen und Physikern. Medizingeschichtlich fällt dieser Abschnitt in jene Zeit, in der die Ophthalmologie begann, eine eigene Stellung innerhalb der gesamten Heilkunde einzunehmen.

Nachdem die Systematik der dem Willen unterworfenen Augenbewegungen hinreichend abgeklärt schien, erregte ein von DONDERS (1848) durchgeführter Versuch das Interesse der Wissenschaftler

besonders; genau genommen hat er bis heute an Aktualität nicht verloren. Dieses als "DONDERS' scher P r i s m e n v e r s u c h" in die Literatur eingegangene Experiment, mit dem sich u.a. auch HELMHOLTZ (1865), HERING (1868) und NAGEL (1868) auseinandersetzten, bezeichnet den Beginn eines neuen Fragenkomplexes, der die dem Willen entzogenen Augenbewegungen zum Thema hat.
Bei diesem Prismenversuch wird vor ein Auge des Probanden ein ablenkendes Prisma gesetzt. Dadurch findet augenblicklich eine Dissoziation des binokularen Bildeindruckes statt, d.h. es treten Doppelbilder auf. Diese erscheinen - der Stärke des Prismas entsprechend - mehr oder weniger weit von einander entfernt. Ist diese Entfernung nicht zu groß, so beobachtet man, daß sich die beiden Bilder bei dem Bemühen, einfach zu sehen, wie von einer magischen Kraft angezogen, wieder vereinigen und somit die Einheit des Bildeindruckes wiederhergestellt wird. Es wird also trotz der Wirkung des ablenkenden Prismas schließlich wieder einfach gesehen.
Entfernt man das Prisma nun wieder, so verharren die Augen noch eine Zeit lang in ihrer bislang eingenommenen Stellung und es treten neuerlich Doppelbilder auf. Um das Einfachsehen wiederherzustellen,

verlassen die Augen dann jedoch diese zuvor provozierte Zwangsstellung bald und nehmen die ursprüngliche Ausgangsstellung ein. Das bedeutet, der Zustand der binokularen Bildeinheit ist wiederhergestellt.

Dieser Versuch läßt eine Vielzahl von Variationen zu, je nachdem man die Prismenbasis nach aussen, nach innen, nach oben oder nach unten gerichtet vor das Auge bringt. Auch kann man zwei Prismen gleichzeitig benutzen, sie gegeneinander verschieben und beobachten, wie das Auge - bzw. das Augenpaar - darauf reagiert. Innerhalb gewisser Grenzen kann man auch dabei feststellen, daß die Augen in der Lage sind, die kurzfristig aufgezwungenen Doppelbilder zu beseitigen, d.h. eine sinnvolle Verschmelzung beider Einzelbilder zu erreichen. Diesen Vorgang bezeichnete man mehr oder minder deskriptiv als F u s i o n.

Unsere Kenntnis über dieses sog. Fusionsvermögen, d.h. über die ordnenden Vorgänge, die sich bei der Verschmelzung der Seheindrücke beider Einzelaugen zu einer gemeinsamen Bildempfindung abspielen, sind auch heute noch recht lückenhaft.
Die Schwierigkeiten der näheren Analyse bestehen

vornehmlich darin, daß bei diesem Vorgang einerseits ein autonomer "Mechanismus" des Nervensystems (optischer Reflex) vorliegt, andererseits aber ein durch Aufmerksamkeit und Übung trainierbarer, subjektiver Faktor zum Tragen kommt. Insgesamt liegt also ein psycho-optischer Reflex im Sinne HOFMANNs (1903) vor.

Die sog. Disparation der Bilder, d.h. die Abbildung eines fixierten Gegenstandes auf nicht konjugierten Netzhautarealen besitzt offenbar einen bestimmten Signalcharakter und löst spezifische Bewegungen (Fusionsbewegungen) der Augen aus, die solange aufrechterhalten werden, bis das Ziel, nämlich die Beseitigung der Doppelbilder, erreicht ist. Ablauf und Ausmaß dieser Bewegungen sind unserem Willen entzogen und laufen eigenständig ab (HOFMANN und BIELSCHOWSKY 1900).

Die komplizierten sensorischen Vorgänge, die der Fusion letztlich zugrunde liegen, entziehen sich bisher einer erschöpfenden Deutung; d.h. bei unseren experimentellen Bemühungen sind wir darauf angewiesen, wenigstens einen "exakten Subjektivismus" (BERGER 1953) zu betreiben.

Bei der Besprechung des Schrifttums sieht man aus Gründen der Übersicht von der allgemein üblichen chronologischen Reihenfolge der Darstellungen besser ab. In den meisten Monographien und Arbeiten wird eine solche Vielzahl von Fragen oft gleichzeitig angesprochen, die sowohl das eigentliche Fusionsproblem als auch dessen Grenzgebiete behandeln, daß ermüdende Wiederholungen unumgänglich wären.
Deshalb sollen die einzelnen Glieder des Fusionskomplexes gesondert diskutiert und nach ihrer funktionellen Zusammengehörigkeit betrachtet werden. Die Reihenfolge der einzelnen Abschnitte ist also bewußt willkürlich gewählt und besitzt keine historisch begründbare Leitlinie.

Augenbewegungen

Die Existenz eines Augenpaares bedingt unter physiologischen Verhältnissen die Existenz zweier gleichzeitiger Netzhautbilder ein und desselben Betrachtungsobjektes. Trotzdem empfinden wir aber nur eine einzige (undggf. sogar räumliche) Vorstellung dieses Sehdinges. Die psychologischen und physiologischen Leistungen, die schließlich zu diesem Singuläreindruck führen, werden unter dem subsummierenden Begriff der Fusion zusammengefaßt. Diese

Begriffsbildung stellt in Wahrheit aber eine simplifizierende Abstraktion einer Vielzahl von Vorgängen, Fähigkeiten und Empfindungen dar, die im Folgenden erörtert werden sollen.
Der Versuch, ein Faktorenmosaik darzustellen, mag wie Zerstückelung anmuten, verfolgt aber den Zweck, die einzelnen Standorte unseres Wissens über die Fusion zu beschreiben und die Lücken, die ein hinlängliches Begreifen des Vorganges noch verhindern, zumindest aufzuzeigen.

Bevor die einzelnen Augenbewegungstypen besprochen werden, seien die D e f i n i t i o n e n gebräuchlicher Bezeichnungen vorangestellt, die auf STEVENS (1880) zurückgehen:

1) Orthophorie: Tendenz der Sehlinien zum Parallelstand (in Ruhestellung).
2) Heterophorie: Tendenz der Sehlinien in irgendeine von der Ruhestellung abweichende Richtung.

Als Arten der Heterophorie sind zu unterscheiden:

a) Esophorie: Tendenz der Sehlinien zur Convergenz.
b) Exophorie: Tendenz der Sehlinien zur Divergenz.

c) Hyperphorie: Tendenz der einen Sehlinie, sich über die andere zu heben, wobei entweder die höher oder auch die tiefer gerichtete Sehlinie die fehlerhafte sein kann.

d) Hyperesophorie: Vereinigung von Hyperphorie mit Esophorie.

e) Hyperexophorie: Vereinigung von Hyperphorie mit Exophorie.

d) und e) sind entweder rechts- oder linksseitig.

A) Zur sog. Ruhelage der Augen

SCHNELLER (1890) zitiert Gruit HANSEN und meint, daß ein blindes Auge, dem die Tendenz zur Konvergenz fehle, in seine anatomische Ruhestellung zurückkehre, wobei die Augenachse dann mit der mittleren Orbitalachse zusammenfalle oder sich ihr nähere.

REDDINGIUS (1898) dachte sich die wahre Primärstellung der Augen identisch mit deren (anatomischer) Ruhestellung, also mit divergierenden Gesichtslinien.

BIELSCHOWSKY (1913) unterschied eine relative und eine absolute Ruhelage. Die relative Ruhelage stelle die Lage der beiden Augen relativ zueinander dar,

unbeeinflußt von allen gegensinnigen, dem Fusionszwang folgenden Innervationen. Unter der absoluten Ruhelage wird die Lage der Augen, losgelöst von sämtlichen nervösen Einflüssen, verstanden.

Eine Bestimmung dieser absoluten Ruhelage ist demzufolge intra vitam nicht möglich.

1921 wies FISCHER darauf hin, daß diese sog. Abblendstellung - wie man sie zum Beispiel beim Abdecktest (Cover-Test) herstellt - nichts über die absolute Ruhelage der Augen aussagt, sondern nur über die Differenz der Ruhelage dieses Augenpaares Auskunft gibt. Er führte damals den Begriff der kinematischen Primärstellung ein und verstand darunter die Senkrechtstellung der Gesichtslinien zu der Ebene, welche die Vertikalachse des M.internus und die Horizontalresultante der beiden Heber und Senker einschließt. Die Ursachen für die Diskrepanzen in der absoluten Lokalisation suchte FISCHER in der Verschiedenheit von Ruhestellung und kinematischer Primärstellung der Augen. Diese wiederum sei bedingt durch die Unvollkommenheit der Regulierung der einzelnen Augenmuskeln.

Mit v.TSCHERMAK faßte FISCHER (1922) die Ruhelage als eine tonische Gleichgewichtslage auf, bei welcher sich sämtliche Augenmuskeln in einem Minimal-

tonus befinden.
ROELOF (1926) definierte die physiologische oder relative Ruhelage als diejenige Ruhelage, die gemessen wird in bezug auf eine bestimmte Blickrichtung und auf einen bestimmten Fixationsabstand. Sie wird gegenübergestellt der anatomischen oder absoluten Ruhelage, die wir schon bei BIELSCHOWSKY (1913) erwähnt finden.
V.TSCHERMAK (1913) sprach von einer dynamischen Ruhelage, die der Primärstellung der Augen entspräche.
Nach OHM (1933) hängt die Ruhelage der Augen von den Spannungsverhältnissen im zentralen vestibulären Kernapparat ab, der wiederum unter dem Einfluß labyrinthärer, optischer und willkürlicher Erregungen steht.

Zur Frage der zeitlichen Abläufe, die bei Augenbewegungen bis zum Erreichen einer Abblendstellung (Cover-Test) notwendig sind, sei auf Arbeiten von BAUER und von HOLLAND verwiesen.
Nach BAUER (1949) sind 40 sec. notwendig, um das Auge in die maximale Abblendstellung zu bringen.
HOLLAND (1958) hat beobachtet, daß die Ruhelage der Augen schon nach einer Abblendzeit von 8 bis 10 sec. erreicht wird.
Die Abweichungen der Augen, die der Cover-Test

erkennen läßt, bezeichnen nach OGLE (1964) zwar einen gewissen Gleichgewichtszustand, sind aber nicht identisch mit der absoluten Ruhelage, "da die Muskulatur noch von anderen, von innen kommenden Reizen beeinflußt wird".

B) Heterophorie

A.v.GRAEFE beschrieb schon 1862 die Beobachtung, daß ein Auge nach Vorschalten eines undurchsichtigen Schirmes nach außen abweicht und sich nach Wegnahme dieses Schirmes wieder nach innen einstellt. "Die Größe des beobachteten Drehungswinkels wird auch einen Maßstab für den Spannungsexzeß abgeben". Abweichungen von 5^{o} wurden noch als normal angesehen.

Es ist nicht mehr festzustellen, ob sich v.GRAEFE das von dem Schirm nicht abgedeckte Auge als fixierend oder nicht fixierend gedacht hatte. Sein Sohn meinte jedenfalls ein "Convergenzgefühl" bzw. ein "Einrichtungsbestreben" des bewaffneten Auges beobachtet zu haben, während das unbewaffnete fixiert. In Entgegnungen auf Kritiken von LANDOLT verteidigt er (1889) seine These, daß "das vom Sehact excludierte Auge in der Regel doch auf den Blickpunkt des fixirenden eingerichtet ist". Träte dennoch eine Abwei-

chung ein, so sei diese durch eine muskuläre Asthenopie bedingt.

REDDINGIUS (1898) wiederum sah in einer Heterophorie nichts Pathologisches. BIELSCHOWSKY und LUDWIG (1906) sowie BIELSCHOWSKY (1913,1922) betonten, daß die Orthophorie(gegenüber der Heterophorie)sogar eine Ausnahme darstelle.

Nach FISCHER (1922) entspricht die Heterophorie einer Zwangslage von höherem, gleichmäßig verteiltem Spannungstonus der Augenmuskeln, der seinerseits individuellen Schwankungen (gemessen zu verschiedenen Zeiten und unter unterschiedlichen Bedingungen) unterworfen sei.

Van der HOEVE (1922) führte den Begriff der Diplopiaphobie ein, die die Korrektur der Heterophorie bewerkstellige. Seiner Meinung nach erzeugen Doppelbilder, die durch das Nichtgerichtetsein beider Gesichtslinien auf den Fixierpunkt entstehen, derartig unangenehme Empfindungen beim Menschen, daß er alles daran setze, diese Doppelbilder von vornherein zu vermeiden.

Ergänzend zur Inkonstanz der Heterophorie, die schon FISCHER betont hatte, hebt BESKOW (1937) noch einmal hervor, daß Art und Grad einer Heterophorie auch in den verschiedenen Teilen des Blickfeldes wechseln könne.

Seit JUNKER (1940) wird das Problem der Heterophorie nur noch selten losgelöst von dem der Fusion betrachtet. Seinen Erfahrungen zufolge beschränkt sich die Heterophorie hauptsächlich auf den Bereich des Nahesehens.

Nach SCHUBERT (1944) ist die heterophore Abweichung des Auges bedingt durch:

a) den Wegfall bestimmter motorischer Impulse infolge Ausschlusses vom binokularen Sehakt und

b) die motorischen Impulse, denen die Augenmuskulatur des abgeblendeten Auges zugleich mit denen des fixierenden Auges unterliegt. Denn auch das abgeblendete Auge unterliege den sog. konjugierten Bewegungen, was ja schon GRAEFE 1889 behauptet hatte.

SCOBEE und GREEN (1947) definieren dann die Heterophorie als ein Abweichen des Auges dessen Ausmaß aber unter Aufrechterhaltung der Fusion bestimmt wird. Diese "Messungen der Heterophorie enthüllen deshalb, wie groß die motorische Aufgabe ist, die die Fusion erfüllt, um die Bilder auf korrespondierende Netzhautpunkte zu bringen".

Nach einer Arbeit, die 1948 SCOBEE und GREEN veröffentlicht haben, besteht kein Zusammenhang zwischen Heterophorie, Alter, Geschlecht, Höhe der Refraktion, Prismenvergenz und Konvergenznahpunkt.

Versuche mit adduzierenden und abduzierenden Prismen zeigen, daß bei Bestehen einer größeren Esophorie nur relativ schwache abduzierende Prismen überwunden werden können, während Patienten mit einer größeren Exophorie die Bilddissoziation, hervorgerufen durch stärker abduzierende Prismen, noch vereinigen können. Man findet also regelmäßig bei einer größeren Esophorie eine kleinere Prismendivergenz und bei einer größeren Exophorie eine grössere Prismendivergenz.

1951 zeigten sie die Beziehungen auf, die zwischen Heterophorie und "Prismenvergenz" bestehen. (Im angelsächsischen Schrifttum bezeichnet der Ausdruck Vergenz den Gesamtbetrag, der aus der Summe der beiden Einzelbeträge Prismenkonvergenz und Prismendivergenz besteht.)

JAENSCH (1954) und MONJÉ (1958) weisen ebenfalls daraufhin, daß die Heterophorien durch die Fusion latent gehalten werden.

HOLLAND (1958) fand, daß es echte Orthophorie für 5 m Entfernung und in Leseweite nicht gäbe. Bei Fernblick überwiege die Esophorie, in Leseweite die Exophorie. Die Änderung der Heterophorie bei Wechsel der Blickrichtungen sei physiologisch.

OGLE (1964) sieht die Heterophorie als eine Resultante zweier Systeme an: dem ersten System obliege

die Registrierung von Impulsen aus dem Akkommodations-Konvergenzsynergismus und außerdem die Verarbeitung von Einflüssen labyrinthärer Herkunft. Entfernungseindrücke sollen ebenfalls im Spiele sein. Das zweite System übernähme die Registrierung von Fusionsimpulsen. Bei Fehlen der Fusion träte lediglich das erste System in Funktion. Ist Fusion möglich, so wetteiferten beide Systeme miteinander.

C) Raddrehungen

Das Phänomen der Raddrehungen des Auges, das über lange Zeit hinweg die Ophthalmologen und Physiologen beschäftigte, wurde zuerst von NAGEL (1861) beschrieben. Als nächster veröffentlichte HELMHOLTZ (1865) die Beobachtung, daß man bei einem Blick durch eine langsam rotierende Prismenanordnung einen Gegenstand zuerst in gekreuzten Doppelbildern sieht, die sich nach einiger Zeit jedoch zu einem Bild vereinigen. HELMHOLTZ folgerte daraus, daß sich das Auge, das durch die rotierten Prismen schaut, allmählich so drehe, daß die Bilder wieder auf identische Netzhautpunkte fielen.
Diese von HELMHOLTZ'sche Beobachtung rief HERING

auf den Plan (1868). Da HERING im Selbstversuch die Rollung nicht nachvollziehen konnte, behauptete er, die von HELMHOLTZ angenommene Rollung stelle nur ein kompensatorisches Schielen dar. Außerdem sei die willkürliche Drehung um die Gesichtslinie überhaupt nicht möglich. "Es mag jedoch möglich sein", räumte er ein, "diese Bewegungen unnatürlicherweise einüben zu können, wie Ohrenwackeln und Zungenkräuseln".

Im späteren Prioritätsstreit stellte NAGEL (1868) nachdrücklich fest, daß er die Tatsache der Raddrehung des Auges als erster beschrieben habe. Bei Versuchen am Stereoskop hatte er (1904) gefunden, daß bei einer Neigung der Bilder gegeneinander von insgesamt 10° jedes Auge um 5° zu drehen vermag.

1869 hat HERING die Existenz der Raddrehungen akzeptiert und unterschied sie von den übrigen, willkürlichen Augenbewegungen dadurch, daß sie langsamer, schwieriger und nur innerhalb geringer Grenzen auszuführen seien; außerdem zeichneten sie sich durch eine besonders starke Nachinnervation aus.

DONDERS (1876) erklärte die Rollung der Augen aus der physiologischen Tatsache, daß beim Blick nach oben eine Tendenz zur Divergenz und beim Blick nach unten eine solche zur Konvergenz bestünde.

Nach HOFMANN und BIELSCHOWSKY (1900) sind die Rollungen der Augen um die Gesichtslinie zu den der Willkür entzogenen Augenbewegungen zu rechnen, die sich jedoch durch eine geeignete Versuchsanordnung erzwingen ließen.

HOFMANN (1925) meinte, daß das physiologisch Wichtigste an der Rollung nicht die zur Fusion führende Bewegung an sich sei, sondern vielmehr die den Verhältnissen des Sehens angepaßte, dauernde, tonische Grundinnervation der Augenmuskeln. Um es deutlich hervorzuheben, möchte er die Rollung und auch die Vertikaldivergenz nicht als "Fusions-Bewegungen" sondern als "Fusions-Einstellungen" bezeichnet wissen.

HERZAU (1929) fand, daß die Disklination leichter auszuführen sei als die Konklination, da die Konvergenz normalerweise an die Disklination gekoppelt sei. (Vergl. auch DONDERS 1876.)

Die rotatorischen Bewegungen der Augen, die sich durch gegensinnige Drehungen der (zur Verschmelzung dargebotenen) Objekte erzwingen ließen, seien durch Übung trainierbar, jedoch nur bis zu einem bestimmten Maximum. Auch bei Höhendivergenzstellungen würden noch Rollungen ausgeführt, beide Kooperationsformen würden sich prinzipiell als frei und unabhängig voneinander erweisen, die

Reihenfolge sei ohne Bedeutung. Die Vertikalkooperation erweise sich als widerstandsfähiger als die Rollungskooperation.
Das gleiche bestätigte auch v.TSCHERMAK (1931).

Auf Grund ihrer Untersuchungen fand BERGER (1953) keine Gesetzmäßigkeit zwischen der Fusionsbreite von Höhendivergenz und Verrollung trotz Innervation gleicher Muskelgruppen. Verrollungsübungen würden im allgemeinen als anstrengender empfunden.
Bei der Höhendivergenz beruhe die Fusion auf echter, muskulärer Stellungsänderung der Bulbi, während die geringe muskuläre Komponente bei der Verrollung darauf basiere, daß für relativ hohe Verrollungsgrade das PANUMsehen allein ausreiche.

Fusion

HOFMANN und BIELSCHOWSKY (1900), die die erste zusammenfassende Untersuchung über Fusionsbewegungen angestellt haben, halten die Fusion für eine tonische Innervation, die während aller wirklichen Augenbewegungen beibehalten wird.
NAGEL (1904) schreibt im Handbuch der Physiologie: "Der Augenapparat ist bestrebt, die durch Prismen

hervorgebrachten Doppelbilder zu vereinigen (Fusion). Diese Fusionstendenz ist desto stärker, je weniger die beiden Bilder voneinander entfernt erscheinen".

Nach WORTH (1905) ist die Fusion ein rein psychischer Vorgang. Mit dieser Aussage begann die Diskussion über das eigentliche Wesen der Fusion. Ist sie, wie WORTH meinte, ein rein psychischer Vorgang oder ist sie wie KRUSIUS (1908) glaubte, "eine Fähigkeit, die in ihrer höchsten Entwicklung zu einer Art Zwang werden kann"? KRUSIUS verstand unter Fusion "die Verarbeitung zweier unocularer, macularer oder perimacularer Netzhauterregungen, die eine des rechten, die andere des linken Auges, zu einem simultan und einheitlich empfundenen binocularen Gesichtseindruck".

Für FISCHER (1922) stellte die Fusion das wichtigste Korrektionsmittel dar, das ein tadelloses Zusammenarbeiten des Doppelauges ermöglicht. Der Fusionsausgleichmechanismus sei ein unwillkürlich arbeitender Reflexapparat, jedoch gebunden an die Integrität spezifischer, physiologischer und psychischer Einrichtungen, die zum binokularen Einfachsehen drängen.

Nach CORDS (1930) ist die Fusion keine Fähigkeit,

sondern das Resultat einer Einstellung der Augen. VERHOEFF (1935) hielt die ganze Auffassung der Fusion für sehr problematisch und schlug deshalb die neutralere Bezeichnung "unification" vor. KRIMSKY (1948) versteht unter Fusion die Fähigkeit, Eindrücke, die von beiden Augen empfangen werden, zu einem Bild zu verschmelzen. Nur durch künstliche Hilfsmittel könne man beweisen, daß beide Augen ihr eigenes Bild empfangen. KRIMSKY unterscheidet eine 'normal fusion' und versteht darunter die Verschmelzung von Doppelbildern unter Alltagsbedingungen, welche zentral, perifoveal oder perimacular sein kann und eine 'abnormal fusion', worunter er die Verschmelzung von Doppelbildern unter künstlichen Bedingungen versteht und ebenso "the awakening of binocular awareness without the production of binocular single vision" (den binokularen Eindruck ohne binokulares Einfachsehen). Nach OGLE (1950) ist der Begriff der Fusion überhaupt noch nicht geklärt.

SWAN (1958) definiert die Fusion als "cerebrale Integration von Lichtempfindungen beider Augen zu einer einzigen Sehwahrnehmung". Unter Empfindung (sensation) versteht er eine spezifische sensorische Antwort, die unveränderlich auf die Reizung eines sensorischen Endorgans, wie z.B. die Zapfen

der Netzhaut, erfolgt. Wahrnehmung (percetion) stelle einen geistigen Eindruck dar, basierend auf den Empfindungen, die bewußt geworden seien und die Gedanken anregten. "Die Fusion gehört zum Typ des wahrnehmenden Vorganges. Die Fusion ist ein Wahrnehmungsprozeß, der dem Binokularsehen Merkmale zufügt, die beim unokularen Sehen und beim Schielen fehlen".

Für LYLE und BRIDGEMAN (1959) ist die Fusion von Bildern zu einem einzigen Objekt, ausgehend von korrespondierenden Punkten beider Netzhäute, ein geistiger, wenn auch unbewußter Vorgang und besitzt eine physikalische Grundlage. Diese besteht aus einem einzigen Satz genau definierter Nervenimpulse. Die Fusion müsse eher als Ganzes angesehen werden und nicht als eine Funktion eines hypothetischen Fusionszentrums. Bei der normalen fovealen Fixation, d.h. wenn beide Gesichtslinien auf das Sehobjekt gerichtet sind und das Objekt auf beiden Foveae simultan abgebildet ist, wird dank der Fähigkeit zur gleichzeitigen Perzeption das Objekt im Gehirn als ein einziges empfunden und projiziert. Auch bei Bewegungen der Augen oder des Objektes bleibt es durch die Fusion ein einziges.

DODEN (1961) weist noch einmal darauf hin, daß die Fusion als zentraler Vorgang nicht meßbar sei.

Bei der Fusion unterscheidet man heute einen motorischen und einen sensorischen Anteil. Um den aktiven Charakter der beiden Komponenten zu unterstreichen, spricht man folgerichtig auch von der motorischen Fusion und der sensorischen Fusion.

Die m o t o r i s c h e F u s i o n stellt einen kinetischen Akt dar, der die Bulbi bewegt und der zur Abbildung (anfangs disparat abgebildeter Objekte) auf Deckstellen führt. Dieser Akt ist z.B. bei Näherung eines Objektes eine Konvergenzbewegung und bei Abstandsvergrößerung eine Divergenzbewegung. Vergleichbar der Konvergenzbreite gibt es eine Fusionsbreite. (HAMBURGER 1960.)

Die s e n s o r i s c h e F u s i o n dagegen bewerkstelligt die Verschmelzung bzw. das Einfachsehen effektiv disparat abgebildeter Objekte innerhalb des PANUMschen Bereiches (v.TSCHERMAK).

"Die sensorische Vereinigung von zwei Netzhautbildern, die innerhalb korrespondierender Netzhautareale liegen, d.h. denen eine gemeinsame Sehrichtung zugeordnet ist, wird als sensorische Fusion bezeichnet". (BURIAN 1951.)

Für HALLDEN (1952) stellt die sensorische Fusion eine zeitweilige Korrespondenz von Netzhautelementen dar, die in streng geometrischem Sinne gar

nicht miteinander korrespondieren.
Nach SACHSENWEGER (1958, 1958/59) umfaßt die sensorische Fusion sogar zwei isolierte Funktionsleistungen des binokularen Sehaktes: 1. Die Verschmelzung von querdisparaten, auf beiden Netzhäuten abgebildeten Objekten innerhalb des PANUMschen Bereiches und 2. die Auswertung der Querdisparation zu einem räumlichen Eindruck. Mangelhaft oder fehlerhaft angelegte sensorische Fusion könne unter Zusammenwirken mit anderen Faktoren Ursache von Begleitschielen sein.

Fusionsbewegungen

Am Beispiel des DONDERschen Prismenversuches, der - wie erwähnt - eine Bewegung der Augen gemäß der erzeugten Bildverschiebungen hervorruft, beschrieb A.v.GRAEFE (1880) die (objektiv erfaßbaren) Fusionsbewegungen. "Es finden dieselben nach allen Richtungen hin statt, nach denen die Augen überhaupt zu bewegen sind, wie also durch Adductionsprismen eine abducirende, so wird durch vertikal vorgelegte derartige Gläser eine vertical, ab-/resp. aufwärtssteigende Fusionsbewegung angeregt usw. Alle diese Bewegungen sind indess mehr oder weniger beschränkt".

NAGEL (1880) erwähnte, daß es neben der scharfen, optischen Einstellung der Augen auf das Sehobjekt noch notwendig sei, die Augen so einzurichten, daß die Fovea centralis von jedem Auge auf das Fixierobjekt gerichtet sei, damit die mit beiden Augen gesehenen Bilder verschmolzen werden können. "Die dazu erforderlichen Bewegungen der Augen, welche die Blicklinie nach Bedürfnis größerem oder kleinerem Winkel convergent machen, können als Verschmelzungs- oder Fusionsbewegungen bezeichnet werden".

In seiner Arbeit "Ueber Fusionsbewegungen der Augen beim Prismaversuche" gab GRAEFE (1891) zum ersten Mal eine Zusammenfassung über das Wesen der Fusionsbewegungen. "Die associirten, die accomodativen und die sog. gemischten Bewegungen, bei welch' letzteren die Gesetze, welche die beiden ersteren bestimmen, in zweckmäßige Zusammenwirkung treten, sind mithin, da sie die Vereinigung der Gesichtseindrücke, in einen, das binoculare Sammelbild vermitteln, ihrer fundamentalen Natur nach Fusionsbewegungen".

Die ergiebigste Fusion fände dort statt, wo die Fusionsbewegungen im Einklang mit den physiologischen Bewegungen stünden, z.B. Fusion in der Horizontalen. Es würden jedoch auch unphysiologische Prismenab-

lenkungen nach außen, oben und unten überwunden. "Solche Bewegungen sind unphysiologische, nicht geübte und wir stehen hier somit wirklich der Thatsache gegenüber, dass der Drang zum binocularen Einfachsehen mächtig genug ist, um Bewegungen der Augen gegen die natürliche Anlage und physiologische Norm erzwingen zu können. Es ist indess sofort zu betonen, dass solche paradoxe Fusionsbewegungen den vorher besprochenen gegenüber doch nur äußerst beschränkte sind".

Daß die Fusionsbewegungen auch exogenen Störungen unterworfen sind, beschrieb GUILLERY (1900).

Im gleichen Jahr erschien die Arbeit von HOFMANN und BIELSCHOWSKY "Über die der Willkür entzogenen Fusionsbewegungen der Augen".

Unsere heutigen Kenntnisse beruhen größtenteils auf dieser Arbeit, die eigentlich alles Wesentliche bereits enthält. Spätere Untersuchungen konnten diese Ergebnisse eigentlich nur bestätigen oder geringfügig erweitern. Die beiden Autoren stellten folgende Charakteristika für Fusionsbewegungen auf:

1. Vertikaldivergenz und gegensinnige Rollungen machen im wesentlichen analoge Erscheinungen. Sie lassen sich nicht willkürlich beschleunigen, aufhalten oder einleiten.
2. Das Eintreten der Fusionsbewegung erfolgt nur

allmählich. Durch längere Übung kann man einen rascheren Verlauf erzielen, aber keine Steigerung des Maximums, das man bei einer ersten Versuchsreihe erhalten hat.

3. Das Verschwinden der Fusionskontraktion erfolgt nur langsam, es bleibt ein Innervationsrest zurück.

4. Das Ausmaß der Fusionsbewegungen bleibt stets ein wenig hinter der wirklichen Verschiebung der Objekte zurück, umso mehr, je näher man dem Maximum kommt.

5. Bei der Fusion handelt es sich um eine tonische Innervation, die während aller wirklichen Augenbewegungen beibehalten wird.
   Die Augen haben unter dem Zwang des Binokularsehens eine neue Ausgangsstellung angenommen.

1903 schrieb HOFMANN, daß Fusionsbewegungen keine Bewegungen im eigentlichen Sinne seien, sondern ein Beibehalten einer bestimmten, den Verhältnissen des Sehens angepaßten Grundinnervation.
HELMHOLTZ (1910) war in der Lage, eine Exophorie von 8° und eine Hypophorie von 6° zu überwinden. Daraus schloß er, "daß die Verbindung, welche zwischen den Bewegungen beider Augen besteht, nicht durch einen anatomischen Mechanismus erzwungen, sondern vielmehr

durch den bloßen Einfluß unseres Willens veränderlich ist und daß wir nur in der Bildung unserer Willensintention beschränkt sind, insofern diese nur auf den Zweck einfach und deutlich zu sehen gerichtet sein können".

V.KRIES (1910) wies lediglich daraufhin, "daß die Bewegungen, deren Erfolg darin besteht, binokulare Diplopie zu beseitigen, ...neuerdings als Fusionsbewegungen bezeichnet werden".

1925 erklärte HOFMANN die Fusionsbewegungen als typische psycho-optische Reflexe. Die Fusionsbewegungen treten nur dann auf, wenn die Aufmerksamkeit den Sehdingen zugewendet wird. Die Fusionsbewegungen können willkürlich weder eingeleitet noch aufgehalten werden. "Es ist also so, als ob sich gleichartige Bilder unabhängig von unserem Willen gegenseitig anzögen, wir sprechen daher von einem Fusionszwang".

Die gleichmäßige Innervation zum Zwecke des Einfachsehens hatte schon HERING (1868) erwähnt.

Es sei gestattet, die Bemerkungen von BRECHER (1954) über den sog. Fusionszwang vorwegzunehmen, da das Stichwort hier gefallen ist:

Bei Messungen des Fusionszwanges müsse man bedenken, daß folgende, das Ergebnis verfälschende Komponenten eingingen: Der Grad der erzwungenen Konvergenz

bzw. Divergenz, die Stärke des reflektorischen Fusionszwanges und das Ausmaß, in dem sonst normal reflektorisch die Akkomodationskonvergenz verändert oder gehemmt werde. Die Fusion könne durch Konvergenz erzwungen werden.

Nun jedoch zurück zu den Fusionsbewegungen.

CORDS (1929) betonte, daß Fusionsbewegungen stets auf einer binokularen Innervation beruhten.

V.TSCHERMAK (1931) schrieb in seiner Abhandlung über Augenbewegungen: "Die der Willkür entzogenen Anpassungsbewegungen erstreben entweder als 'Fusionsbewegungen' die Verbringung der beiden Bilder des beachteten Objektes auf korrespondierende Stellen (Verschmelzung) oder zielen als statische Lageänderung darauf ab, die Normallage im Raume unter besonderen Außen- und Innenbedingungen zu erhalten. Fusionsbewegungen sind ohne Fixationsobjekt nicht möglich. Die Fusionsbewegung verteilt sich stets auf beide Augen, auch wenn der Anlaß nur einseitig gegeben ist."

Dann wies v.TSCHERMAK neuerlich auf die seit HOFMANN und BIELSCHOWSKY (1900) bekannte Tatsache hin, daß der Umfang der tatsächlich erreichten Fusionsbewegung stets etwas hinter jenem der Verschiebung zurückbleibt, und deshalb genaugenommen nur unter Abzug des dem PANUMschen Empfindungskreis

jeweils entsprechenden Wertes zu messen sei. Die effektive Fusionsbewegung sei also: motorische Fusion vermindert um die sensorische Fusion.
BERGER (1953) berichtet, daß sich ihren experimentellen Erfahrungen zufolge nach einer 20 minütigen Übung eine Steigerung der Fusionsbreite durch vermehrten Muskeltonus um 2° erreichen lasse.
WINKELMANN (1953) arbeitete mit folgender Versuchsanordnung: der Fovea des einen Auges wurde das Bild eines Gitters unter einem Winkel von $3,5^{\circ}$ angeboten, dem anderen das Bild eines Schädels unter einem Winkel von 2°. Dabei wurde das Phänomen der Rivalität beobachtet: der Schädel blieb nicht in dem Gitter. Daraus schloß WINKELMANN, daß Fusionsbewegungen fovealer Bilder nur dann möglich sind, wenn sie zu einem zentralen Bild vereinigt werden können.
Wenn die gleichen Bilder jedoch der Netzhautperipherie angeboten wurden, so resultierten daraus Fusionsbewegungen. Der Verfasser nimmt an, daß diesem Vorgang ein primitiver Reflex zugrunde liege, der nach Untersuchungen von KEINER (1951) schon bei Säuglingen vorhanden sein soll.
Zusammenfassend meinen schließlich FISCHER und WAGENAAR (1954): sämtliche Bewegungen, die im

Interesse des binokularen Sehens ausgeführt werden, sind in den Fusionsbewegungen enthalten".

Fusionsmechanismus

Nach NAGEL (1880) besteht der Fusionsmechanismus aus zwei einander entgegenwirkenden Muskelaktionen. Die beiden inneren, geraden Augenmuskeln bewirken die binokulare Einstellung auf die Nähe durch Adduktions- oder Konvergenzbewegungen; die äußeren, geraden Augenmuskeln sorgen für die Einstellung für die Ferne durch Abduktions- oder Divergenzbewegungen. Für beide antagonistischen Muskelgruppen gibt es nach NAGEL eine besondere, aktive Innervation.

SCHMIDT-RIMPLER (1880) beschrieb ein Phänomen, das man bei Versuchen mit Prismen immer wieder beobachten kann: "man constatirte bei der Verschmelzung, dass anfänglich das Heranrücken der entfernt voneinander stehenden Bilder langsam geschah; sobald sie sich aber bis auf eine gewisse Distance genähert hatten, trat die Vereinigung - sobald sie eben möglich war - unverhältnismäßig schnell ein".

FISCHER (1922) führte den Begriff des Fusionsausgleichsmechanismus ein, der einen unwillkürlich

arbeitenden Reflexapparat darstellt, jedoch gebunden an die Integrität spezifischer, physiologischer und psychischer Einrichtungen, die zum binokularen Einfachsehen drängen.

EYLES (1948) gibt eine Zusammenstellung sämtlicher Faktoren, die für eine normale Funktion der Fusion notwendig sind:

1. Das Überschneiden der Gesichtsfelder beider Augen,
2. ein hochorganisiertes Zentralnervensystem,
3. korrespondierende Elemente: Netzhaut-Gehirn,
4. ein exakt funktionierendes System der äußeren Augenmuskeln, sodaß die Gesichtslinien genau orientiert sind.

Die hauptsächlichen Fusionshindernisse sind nach ihren Erfahrungen als Orthoptistin:
Refraktionsanomalien und neurogene Anomalien, wie etwa ein Nystagmus und Strabismus.

"Nach der zentralen Verarbeitung zweier uniokularer Bilder und dem Auftreten von Faktoren wie Aufmerksamkeit und Interesse wird mit zunehmender Permeabilität der assoziierten Bahnen die Fusion als letzte Synthese erarbeitet".

Fusionsbreite

Fusionsreserve, Fusionsvergenzfähigkeit

Alle drei Ausdrücke bezeichnen den individuellen Vergenzspielraum (horizontal, vertikal, rotatorisch), innerhalb dessen das binokulare Einfachsehen möglich bleibt. Er kann im Gradmaß oder in Prismendioptrien gemessen werden. Für die Untersuchung im freien Raum benutzt man überlicherweise Prismenleisten; für die instrumentelle Untersuchung verwendet man den Synoptophor.
Manche Autoren bevorzugen den Ausdruck Fusions- r e s e r v e, wenn mit Prismen untersucht worden ist und den Ausdruck Fusions b r e i t e, wenn es sich um ein Untersuchungsergebnis am Synoptophor handelt.

GRAEFE (1858) fand bei seinen Untersuchungen zur Fusionsbreite, daß man Prismen mit der Basis nach außen am leichtesten überwinden könne; weniger leicht solche mit der Basis nach innen, und nur sehr schwer diejenigen mit der Basis nach oben (bzw. nach unten; Vertikaldivergenz).
GRAEFE (1862) untersuchte ursprünglich nur die Fusionsbreite beim Blick in die Ferne, während er dann 1880 die Fusionsbreite für den Blick in

die Ferne mit der in die Nähe verglich. Beim Blick in die Ferne sind im allgemeinen größere Prismenablenkungen überwindbar. Die Fusionsbreite wird mancherorts auch als "Fusionspotenz" bezeichnet. Es wird vorgeschlagen, das Maß der Fusionsbreite durch dasjenige Prisma anzugeben, das gerade noch 'überwunden' werden könne.

Formen, Größe und Helligkeit der bei der Prüfung dargebotenen Sehobjekte sind für das Maß der jeweils erreichbaren Fusionsbreite von erheblicher Bedeutung. GRAEFE weist außerdem bereits darauf hin, daß sich ein Gegenstand beim Blick durch ein adduzierendes Prismenpaar scheinbar verkleinere und beim Blick durch Abduktionsprismen vergrößert erscheint.

NAGEL schlägt 1880 folgende Definitionen vor:

"Der nächste Punkt, auf den beide Augen durch stärkste Anstrengung noch konvergieren können, heißt Konvergenznahpunkt oder Fusionsnahpunkt, der fernste Punkt, auf den sich die Augen durch stärkste Anstrengung bei der Abduktion noch einzustellen vermögen, wird als Fusionsfernpunkt bezeichnet.

Der Raum zwischen Fusionsfernpunkt und Fusionsnahpunkt wird Fusions b e r e i c h oder Fusions- s p i e l r a u m genannt. Die Fusionsbreite selbst wird definiert als "die Differenz der reciproken Werthe der vom Auge aus gemessenen Abstände des

Fusionsfernpunktes und Nahepunktes. Die Fusionsbreite drückt sich in Meterwinkeln aus (wie die Accommodationsbreite in Meterlinsen)".

Analog der relativen Akkommodationsbreite möchte NAGEL den bei einem bestimmten Akkommodationszustand aufgebrachten Betrag der Fusionsbreite als r e l a t i v e Fusionsbreite bezeichnet wissen.

SCHMIDT (1893) untersuchte die Fusionsbreite bei Hebung und Senkung des Blickes und fand, daß bei gesenktem Blick eine geringere Divergenz und grössere Konvergenz als bei gehobenem Blick möglich sei. REDDINGIUS (1898) erläuterte, daß die negative relative Fusionsbreite durch Steigerung und die positive relative Fusionsbreite durch Verminderung der Divergenzinnervation entstünde.

NAGEL stellte später (1904) noch einmal heraus, daß das stärkste zu überwindende Prisma (Basis außen) die positive Fusionsbreite und das stärkste Prisma mit der Basis innen (nasal) die negative

Tabelle 1

Untersuchungen verschiedener Autoren
über die Größe der Fusionsbreite (F.B.)

A U T O R	Entfernung	Horizontale F.B.		Vertikale F.B.		Cyclofusion
		Eso-phorie	Exo-phorie	Hyper-phorie	Hypo-phorie	
GRAEFE (1858)		24°	-	-	-	-
GRAEFE,A.v. (1862)	Ferne	30°	6°	1°	1°	-
HERING (1868)		-	-	8°		-
GRAEFE,A. (1880)	Ferne Nähe	20-30° 30°	2-5° 5-10°	1-2° 2-5°		- -
GRAEFE,A. (1891)		-	5°	3°		-
SCHNELLER (1892)	Ferne Nähe	- 31,1°	9,7° -	- -	- -	- -
WORTH (1905)		-	4°	1,5-2°	1,5-2°	-
HELMHOLTZ (1910)		-	8°	-	6°	7°
JAENSCH (1954)		-	4-8(10)°	-	-	-
LYLE und BRIDGEMAN (1959)		25-30°	4-6°	2-4°		-

- : Keine Angabe von Meßwerten durch die Autoren

Fusionsbreite angibt. Positive und negative Fusionsbreite addiert stellen die gesamte horizontale Fusionsbreite dar.

Die Überwindung der Prismen mit der Basis nach oben bzw. nach unten ergibt das Maß der vertikalen Fusionsbreite.

Da in die - bisher diskutierte - positive Fusionsbreite auch die dem Willen unterworfene Konvergenz-Intention miteingeht, bezeichnete KRUSIUS (1908) sie als prinzipiell uneindeutig oder sogar fehlerhaft. Eine gültige Aussage über die Fusion gestatte nur die Messung der vertikalen Fusionsbreite und die der Rollung um die Gesichtslinie, da diese beiden dem Willen nicht unterworfen seien.

Von FISCHER (1922) stammte die Formulierung, daß "die Fusionsbreite durch den größten von Doppelbildern und dem Drehpunkt des Zyklopenauges eingeschlossenen Winkel bestimmt ist, bei welchem eben gerade noch der Ausgleichsmechanismus einsetzen kann".

FISCHER spricht dann von einer Fusionsansprechfähigkeit, die ein Maß für die Schnelligkeit des

Einsetzens des Ausgleichsmechanismus' darstellen soll. Eine geringe Ansprechfähigkeit fände man häufig bei geringer Fusionsbreite.

Für HOFMANN (1925) stellt die Fusionsbreite den Höchstbetrag für die Fusionseinstellung dar.

Nach CORDS (1930) sollte die Fusionsbreite stets in fusiofugaler Richtung gemessen werden. Er hält wie KRUSIUS die Konvergenz zur Messung der Fusionsbreite für ungeeignet, da die Konvergenz eine willkürliche Bewegung ist und so die Fusion aktiv unterstützt werden könne.

BURIAN (1939) bestätigt, daß Bildverschiebungen in vertikaler Richtung genauere Ergebnisse lieferten als Verschiebungen in der Horizontalen.

TAIT (1948) untersuchte die Fusionsbreite bei 500 normalsichtigen oder zumindest voll auskorrigierten Personen. Die durchschnittliche Fusionsbreite beim Sehen in die Nähe und ansteigender Prismenstärke lag bei 18 bis 20 pdpt.

Den eingangs erwähnten Unterschied (s.S. 31) zwischen Fusionsbreite und Fusionsreserve belegen LYLE und BRIDGEMAN (1959) mit folgenden Werten (die in Klammern angegebenen Zahlen geben die Fusionsreserve an), mit Prismen gemessen, ohne Angabe der Objektgröße:

Vertikale Fusionsbreite 2 - 4 pdpt (2 - 4 pdpt),
Divergenz 4 - 6 pdpt (4 - 8 pdpt),
Konvergenz 25-30 pdpt (25 pdpt).

Fusionszeit

SCHMIDT-RIMPLER (1880) untersuchte als erster den Zeitfaktor bei Fusionsübungen mit Prismen. Er fand eine durchschnittliche Fusionszeit von 2,21 sec bei Prismen Basis innen und 2,46 sec bei Prismen Basis außen. Hierbei war die Prismenstärke, die gerade noch überwunden wurde, ohne Bedeutung für die obigen Werte, denn die Prismenstärken variierten bei den einzelnen Personen von 2^{o} (Basis innen) bis zu 22^{o} (Basis außen).

Dann beschäftigte sich erst wieder BAUER (1948) mit der Fusionszeit. Er stellte fest, daß sie mit zunehmender Verdunkelung linear anwachse. Die Größe der vom Licht bestrichenen Netzhautfläche spiele für die Fusion eine entscheidende Rolle. Ein kleineres Netzhautareal, von größerer Lichtintensität getroffen, sei nicht so fusionswirksam wie ein größerer Netzhautbezirk geringerer Lichtintensität.

SCHUBERT (1949) fand, ähnlich wie SCHMIDT-RIMPLER (1880), daß die Fusionsbewegungen 2 - 6 sec in

Anspruch nähmen, im Vergleich zu den normalen Blickbewegungen, die nur 0,o2 - 0,2 sec benötigen. BRECHER (1954) ermittelte Fusionszeiten von 1,2 sec, wenn er Sehtafeln 3 mal in der Sekunde zeigte. Er betonte, es sei wichtig, die Reizdauer kürzer als die Reaktionszeit der äußeren Augenmuskeln und der Retina zu halten, nur dann würde die Reaktionszeit keinen direkten Einfluß auf die Fusion haben. Die Zeit, welche diese Forderung noch erfüllte, betrug 20 msec. Personen mit einer langen Fusionszeit seien die ersten, die bei einem verlängerten Intervall zwischen den Darbietungen nicht mehr fusionieren könnten. Es besteht nach BRECHERs Untersuchungen kein Unterschied in der Fusionszeit zwischen Personen mit Orthophorie oder starker Heterophorie. Er fand, daß bei den schnell fusionierenden Personen die Phorie innerhalb des PANUMschen Bereiches lag, bei den normal fusionierenden etwas größer war und sich bei den langsam fusionierenden weit über den PANUMschen Bereich hinaus erstreckte. Für BRECHER stellt diese Methode eine Möglichkeit dar, unabhängig vom Grad der Heterophorie die Fusionskraft zu ermitteln.

SCHMIDT (1957) beschäftigte sich ebenfalls mit der Fusionszeit und zwar bei verschiedenen Blickrichtungen. Er deckte dabei das Auge mindestens 1,5 sec

ab, um die dynamische Fusionskomponente abklingen zu lassen. Die kürzeste Fusionszeit, die er ermittelte, lag bei Senkung des Blickes um 10 - 15° bei 0,5 sec.

SCHMIDT konnte wie BRECHER keine Abhängigkeit von der Heterophorie feststellen.

Fusionswinkel

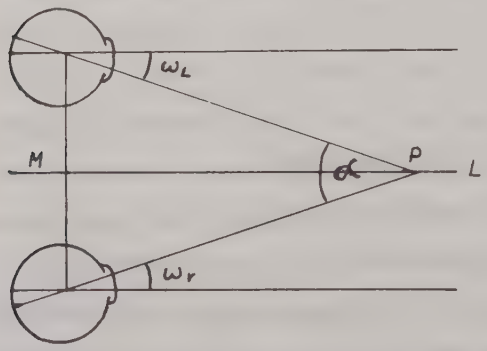
Um die Fusion zu ermöglichen, bedarf es einer Reihe koordinierter, reflektorisch ablaufender Vorgänge des Doppelauges, die im Folgenden nach MÜTZE (1961) zusammengestellt seien.

Akkommodiert man beim binokularen Sehen auf die Nähe, so machen beide Augen folgendes:

1. sie stellen sich auf die Entfernung zu dem betrachteten Gegenstand ein, sodaß er scharf gesehen wird;
2. die Blicklinien beider Augen gehen in Konvergenzstellung, sodaß sie sich auf den betrachteten Gegenstand richten und dieser einfach gesehen wird;
3. die Blicklinien senken sich;
4. die Pupillen verengen sich.

Man bezeichnet den Winkel, den die beiden Blicklinien im betrachteten Objekt (P) einschließen, als Konvergenzwinkel (Winkel α der Abbildung).

Der Konvergenzwinkel ist gleich der Summe der beiden Fusionswinkel ω_l und ω_r, die als Winkel zwischen den Richtungen der Blicklinien in Parallelstellung der Augen und den Blicklinien in Konvergenzstellung gebildet werden.



Konvergenz- und Fusionswinkel

Der Fusionswinkel wird (z.B. im freien Raum) in Prismendioptrien (pdpt) gemessen. Die Prismendioptrie ist die Einheit für die Ablenkung eines Lichtstrahls durch ein Prisma. Der Wert 1 Prismendioptrie liegt vor, wenn die Ablenkung auf 1 m Entfernung 1 cm beträgt (= $0{,}57^{o}$).

Da bei der Angabe eines Fusionswinkels in Prismendioptrien sein Wert vom gegenseitigen Abstand der Augendrehpunkte abhängt, benutzt man als Einheit auch den Meterwinkel (mw), der unabhängig vom Augendrehpunktabstand ist.

Denkt man sich eine symmetrische Konvergenz beider Blicklinien, sodaß der betrachtete Gegenstand P auf der Mittellinie M - L liegt, dann beträgt der

Fusionswinkel 1 mw, wenn die Blicklinien auf einen Gegenstand P in 1 m Entfernung vom Auge konvergieren.

Früher, und zum Teil noch heute, benutzt man die Bezeichnung Prismengrad (pr^{o}), womit die Größe des brechenden Winkels eines Prismas angegeben wird.

Fusionskraft

Unter Fusionskraft versteht HAMBURGER (1959) die Innervations- und Muskelkraft, die zur Fusion führt, also die relative Kon- und Divergenz.
OGLE (1950) und BRECHER (1954) weisen jedoch darauf hin, daß eine isolierte Fusionskraft nicht gemessen werden kann, da sie drei Faktoren enthalte:

1. die erzwungene Kon- und Divergenz,
2. die Größe des Fusionszwangreflexes,
3. den Betrag, um den der normale Akkommodations-Konvergenzreflex verändert oder gehemmt wird.

Nach JAENSCH (1954) zerfällt die Fusionskraft in zwei Leistungen: in eine psycho-optische und in eine unwillkürliche, mit einer sofort und einer allmählich einsetzenden Komponente.
DODEN (1961) meint im Gegensatz zu OGLE und BRECHER, daß die Fusionsbewegungen, gemessen in Graden,

also die Fusionsbreite doch eine Aussage über die Fusionskraft mache.

Fusionsblickfeld

Blickfeld, innerhalb welchem durch entsprechende Fusionsbewegungen binokulares Einfachsehen erzielt werden kann. (HAMBURGER 1960.)

Der Fusionsbereich

ist nach HAMBURGER die Strecke von Unendlich bis zum Konvergenz- oder Fusionsnahpunkt, dem der Nasenwurzel am nächsten gelegenen Punkt, der noch beidäugig einfach gesehen werden kann.
Das bedeutet, daß der Fusionsbereich durch die stärkste Divergenz der Augen (relative negative Konvergenz) und stärkste Konvergenz (relative positive Konvergenz) eingeschlossen wird.

Aufmerksamkeit und Fusion

Seit HERING (1864, 1868) wird immer wieder auf den Zusammenhang zwischen Fusion und Aufmerksam-

keitszuwendung hingewiesen. (SCHMIDT-RIMPLER 1880, FISCHER 1922, LEOPOLDSBERGER 1942, DODEN 1961.)

V.d.HOEVE (1922) gab in diesem Zusammenhang eine Definition der Aufmerksamkeit; demzufolge ist sie "derjenige Prozeß, durch den es möglich ist, aus einer großen Anzahl Empfindungen e i n e bestimmte herauszunehmen, also eine Konzentration des Bewußtseins auf eine bestimmte Empfindung, welche ins volle Licht des Bewußtseins gerückt und mit großer Klarheit und Deutlichkeit wahrgenommen wird, während alles andere dadurch in den Schatten gestellt wird".

HOFMANN (1903), ROELOFS (1926), ROELOFS und ZEEMANN (1928), BEST (1931), v.TSCHERMAK (1931) und BERGER (1953) weisen ebenfalls darauf hin, daß erst die Aufmerksamkeit das Netzhautbild zu einem Reflexreiz mache, der dann die Korrektiv- und Fusionsbewegungen auslöse.

Aber nicht nur das Einfachsehen an sich, sondern auch die Frage nach dem "Drang" zum Einfachsehen waren Gegenstand von Überlegungen. Warum wollen die Menschen eigentlich einfachsehen?

PANUM (1858), GRAEFE (1858), SCHNELLER (1890, 1892), GRAEFE (1891) und WORTH (1905) begründeten diesen

Drang zum Einfachsehen mit den unangenehmen Gefühlen, die das Bewußtwerden von Doppelbildern erzeugt. V.d.HOEVE (1922) prägte dafür den Ausdruck Diplopiaphobie.

WORTH (1905) hatte den Wunsch nach Einfachsehen in den Vordergrund der Betrachtung des Fusionsgeschehens gestellt. ROELOFS (1926) hält dem entgegen, daß ein Wunsch keinen Platz in einer Kette von physisch-chemischen Prozessen habe und beim Neugeborenen z.B. sicher gegenstandslos sei.

Die Wertigkeitsklassifikation des Binokularsehens

Nach WORTH (1905) kann man das Binokularsehen in drei Leistungsstufen aufgliedern:

I. Grad: Gleichzeitige beidäugige makuläre Wahrnehmung,

II. Grad: Echte Fusion mit einer gewissen Fusionsbreite,

III. Grad: Echte Fusion mit Tiefenwahrnehmung.

HAMBURGER (1960) führt noch ausführlicher aus:

I. Grad: Superposition (Ineinandersehen)

Von Superposition spricht er, wenn bei Reizung korrespondierender Netzhautareale (z.B. der Foveae) durch Objekte, die zusammen eine sinnvolle Einheit bilden, ein Sammelbild wahrgenommen wird, z.B.

Zinnsoldat im Schilderhaus.

II. Grad: Superposition + Verschmelzung
(echte Fusion mit einer gewissen Fusionsbreite)

Es werden inhaltlich zusammengehörende Halbbilder angeboten, die verschmolzen werden sollen. Jedes der beiden Halbbilder enthält für sich aber zusätzlich singuläre Kennzeichen und Färbungen von Details. Die Verschmelzung und die vollständige simultane Wahrnehmung aller Bildteile der beiden Halbbilder ergibt erst das vollständige Sammelbild.

III. Grad: Superposition + Fusion + Stereoskopie

Dieser höchste Grad des Binokularsehens wird durch Darbietungen von Halbbildern dann hervorgerufen, wenn neben den auf identischen Netzhautarealen abgebildeten Bildteilen noch zusätzliche Bildteile vorhanden sind, die auf beiden Seiten gleich, aber auf disparaten Netzhautarealen abgebildet werden. Die Reizung dieser Areale ruft den stereoskopischen Eindruck hervor.

Diese Klassifikation wird von BURIAN (1941, aber besonders 1947) abgelehnt. BURIAN führt folgende Argumente an:

1. der I. Grad sei nicht fundamental, da es vorkomme,

daß er bei Patienten mit Fusion II. Grades nicht vorhanden sei.

2. Räumliches Sehen, als Fusion III. Grades bezeichnet, habe nichts mit Fusion zu tun, sondern sei eine Empfindung sui generis, ähnlich dem Farbempfinden.

PIPER (1948) gibt eine Einteilung über die Stufen des Binokularsehens am Stereoskop:

A. Bimakulares Gesichtsfeld ist nicht vorhanden.

B. Bimakulares Gesichtsfeld ist vorhanden.

1. Schielauge sieht periphere Bildteile, besonders in Richtung seiner Makula.
2. Schielauge sieht periphere Bildteile in allen Richtungen, hat aber ein zentrales oder parazentrales Skotom.
3. Zentrales Ineinandersehen und sicheres Raumsehen, aber bei fovealem Wettstreit Versagen.
4. Normales Binokularsehen, auch ohne Verschmelzungshilfen.

Die Darstellung der Einteilung des Binokularsehens nach WORTH von LYLE und BRIDGEMAN (1959) stimmt im wesentlichen mit der von HAMBURGER überein.

Frustrane (unvollständige) Fusion

(HAMBURGER 1960)

Bei der frustranen Fusion wird jener Teil des Halbbildes, der in dem anderen nicht vertreten ist, zwar wahrgenommen, jedoch in deutlichem Abstand von dem anderen Halbbild. Es fehlt in diesem Fall die motorische Fusion, die das Auge so stellt, daß alle Teile auf korrespondierenden Netzhautarealen abgebildet werden. Durch Übung verschwindet die frustrane Fusion in vielen Fällen. Sie wird als Vorbote der normalen Fusion in der orthoptischen Behandlung angesehen.

Nachinnervation

Seitdem man optische Versuche mit Prismen anstellte, wurde immer wieder über das Phänomen der Nachinnervation berichtet. (HELMHOLTZ (1865), HERING (1868), BIELSCHOWSKY und LUDWIG (1906), HERZAU (1929) und BERGER (1953) u.a.m.)

Hält man sich ein Prisma vor ein Auge, so treten zuerst Doppelbilder auf, die jedoch mit einiger Anstrengung verschmolzen werden können. Entfernt man das Prisma wieder, so treten erneut Doppelbilder auf, die nach einiger Zeit wieder verschwinden. Die Dauer

der Persistenz dieser Doppelbilder ist von unterschiedlicher Stärke bei verschiedenen Personen und variiert auch bei der gleichen Person von Versuch zu Versuch.

HOFMANN (1925) meinte, daß die Langsamkeit, mit der die Augen bei derartigen Versuchen ihre Stellung änderten, durch eine tonische Nachinnervation der Augenmuskulatur bedingt sei. Bei erzwungener Divergenz bleibe jedoch keine Nachinnervation zurück, wahrscheinlich durch die dem Willen unterstellte Konvergenz.

HOLLAND (1948) beobachtete, daß der Abstand der Doppelbilder bei bestehender oder künstlich erzeugter Heterophorie geringer wird und die Zeit der Verschmelzung sich ebenfalls verkürzt, wenn man in schneller Folge das eine Auge abblendet und wieder freigibt. Bei entsprechend kurzer Abblendzeit sei es sogar möglich, daß gar keine Doppelbilder mehr auftreten, das Auge also nicht mehr in seine Ausgangslage zurückkehrt; es bliebe ein tonisch wirkender Innervationsrest bestehen. Für HOLLAND ist die Zeit, die nach dem Auftreten von Doppelbildern bis zum Einfachsehen verstreicht, ein Maß für den Innervationsrest.

Nativisten und Empiristen

Ein Problem, das im Zusammenhang mit dem Phänomen der Fusion immer wieder diskutiert wurde, war die Frage, ob die Augenbewegungen angeboren oder erworben seien. Später gesellte sich die Frage nach der Existenz eines Fusionszentrums hinzu.
Das Lager der Diskussionsteilnehmer teilte sich in drei Gruppen, die ihre Ansichten mit viel Nachdruck zu verteidigen suchten. Exakte, durch das Experiment erhärtete Beweise konnte niemand beibringen, und so forderte das Argument des einen sogleich ein entgegengesetztes des Gegners heraus.

Die N a t i v i s t e n hielten die Augenbewegungen für angeboren. Zu ihnen gehören HERING (1868) und später TSCHERMAK und DONDERS (1876), die lehrten, daß sich die Augenbewegungen aus den Erfordernissen der menschlichen Existenz entwickelt hätten.
GRAEFE (1880, 1891) fügte ergänzend hinzu, daß diese angeborene Fähigkeit täglich geübt und gefestigt werden müsse. Denn bei einem Fehlen der Fusionsimpulse z.B. durch Amaurose oder Amblyopie könne eine fehlerhafte Stellung der Augen resultieren.
REDDINGIUS (1899) gehörte ebenfalls, wie auch

WILBRAND und SAENGER (1904) zu den Nativisten, die ihre Auffassung damit begründeten, daß die Auswärtsbewegungen der Augen z.B. bei Verwendung abduzierender Prismen im binokularen Sehakt gar nicht vorgesehen seien. Da sie trotzdem spontan ausgeführt werden könnten, seien sie als " a priori reflektorisch aufzufassen".

Eine Auffassung, die der von SCHNELLER (1892) und HELMHOLTZ (1896) nahesteht, vertritt EYLES (1948). Sie glaubt, daß die Fusion aus einer späten phylogenetischen Entwicklung stamme, bedingt durch die Anforderungen des täglichen Lebens, die den höheren Säugetieren gestellt werden. Da die Fähigkeit zur Fusion entwicklungsgeschichtlich jung und noch nicht so gefestigt sei, sei sie auch leichter störanfällig.

Eine ähnliche Argumentation finden wir bei ABRAHAM (1951). Er schließt die Konvergenz als einen eng an die Fusion gekoppelten Vorgang in diese Überlegung mit ein.

ROENNE (1954) sieht das Binokularsehen als eine Art Empfindungsmuster an, das im Laufe der Jahre entwickelt und gefestigt wurde.

Ein reiner E m p i r i s t war SIMON (1896). Er war der Meinung, daß die Leichtigkeit, mit

der eine Eso- bzw. Exophorie überwunden werden könne, auf einen erworbenen Mechanismus zurückgeführt werden müsse.
KRUSIUS (1906) glaubte, daß sich die Fusion ontogenetisch von einer geringeren Fusionsfähigkeit zu einer höheren entwickele und dann in ihrer höchsten Entwicklung zu einer Art Zwang geworden sei.
BURIAN (1941) verteidigt den exakten Subjektivismus nach v.TSCHERMAK und lehnt die Theorie, nach der das Sehen eine Erfahrungstatsache ist, ab.
BURRI (1942) hält das Binokularsehen und die Fusion für das Ergebnis einer diffusen und komplexen kortikalen Aktivität, die in den ersten Lebensjahren erlernt werden muß.

Die dritte Gruppe bestand aus Verfechtern eines Kompromisses zwischen Nativismus und Empirismus. Sie hielten zwar das anatomische und physiologische Substrat der Augen- bzw. Fusionsbewegungen für angeboren, die Zusammenarbeit sämtlicher Systeme jedoch für erlernt.
SCHNELLER (1892) und HELMHOLTZ (1896) vertraten die Meinung, daß der angeborene physiologische und anatomische Mechanismus erleichternd auf das Erlernen der geforderten zweckmäßigsten Bewegungen wirke.

Fusionszentrum

WORTH (1905) ist ein Verfechter der Existenz eines Fusionszentrums.

Auch JAENSCH (1945/46, 1954) betont immer wieder die Existenz eines Fusionszentrums in der Fissura Calcarina, weil bei Rindenläsionen Fusionsstörungen aufgetreten seien. Es wird u.a. ein Fall beschrieben, bei dem eine Contusio cerebri einen Fusionsmangel nach sich zog. Abgesehen von WORTH und JAENSCH steht die Mehrzahl der Autoren der Existenz eines Fusionszentrums skeptisch gegenüber.

PIPER (1948) rät zur Vorsicht bei der Benutzung des Ausdruckes Fusionszwang in bezug auf ein Fusionszentrum, da es sich seiner Meinung nach insgesamt um einen komplexen Vorgang handele.

Nach KRIMSKY (1948) ist ein Fusionszentrum faktisch noch nicht nachgewiesen.

Ähnlich wie PIPER (1948) vertritt auch HAMBURGER (1960) die Meinung, daß es kein Fusionszentrum gäbe, sondern die Fusion als Resultierende aus allen am Sehakt beteiligten Komponenten anzusehen sei.

CHARNWOOD (1950) lehnt die Existenz eines Fusionszentrums ab und sieht die Fusion einfach als die Funktion zweier Fixationsreflexe an, die zusammenarbeiten.

Auch ROENNE (1954) steht dem Begriff Fusionszentrum

skeptisch gegenüber. Seines Erachtens muß das Binokularsehen als eine besondere Art von Empfindungsmustern (perceptual patterns) angesehen werden, die eine Anzahl von Jahren zu ihrer Entwicklung und Festigung brauchen.

LYLE und JACKSON (1957) bezweifeln ebenfalls das Vorhandensein eines Fusionszentrums. "Die Unfähigkeit zur Entwicklung einer Fusion beruht wahrscheinlich auf mangelhafter physiologischer Entwicklung gewisser koordinierender Bahnen im Gehirn (weil [beim Strabismus] die manifeste Deviation der Augen die normale Entwicklung der binokularen Reflexe verhindert hat) und nicht auf einem angeborenen Fehler eines hypothetischen Zentrums. Wenn es möglich wäre, in einem frühen Lebensalter durch Operation die Sehachsen wieder parallel zu stellen, wäre zu erwarten, daß sich die Fähigkeit zu fusionieren spontan als Resultat des normalen Reizes gleicher, auf beide Makulae fallender Bilder, entwikkeln würde".

Ähnliche Ausführungen findet man bei LYLE und BRIDGEMAN (1959).

Zentrale Vorgänge beim Binokularsehen

Nach SHERRINGTON (1906) wird jedes monokulare Bild unabhängig entwickelt und ausgearbeitet. Die Vereinigung beider Bilder sei das Produkt einer Synthese bereits verarbeiteter Empfindungen.
Da die Aufmerksamkeit ein wichtiger Faktor bei der Fusion ist, schließt BIELSCHOWSKY (1907), daß die Hirnrinde an der Fusion beteiligt sein müsse.
KRUSIUS (1908) dagegen hält die Fusion für einen subcorticalen Vorgang in der Form einer direkten Netzhaut-Sehnerv=Kernbahn.
Dem widerspricht BIELSCHOWSKY (1923) entschieden, wenn er sagt: "Weil die Fusionsbewegungen bei normalem binokularen Sehen ohne unser Zutun, ja unbewußt erfolgten, hat man sie als Reflexbewegungen aufgefaßt. Zu Unrecht deswegen, weil das Zustandekommen der letzteren durch Hinzutreten der Aufmerksamkeit gehemmt wird, während die Erregung eines disparaten Stellenpaares nur dann eine Fusionsbewegung 'auslöst', wenn die betreffenden Netzhautbilder Gegenstand der Aufmerksamkeit sind. Schon hieraus folgt, dass unsere Augenbewegungen k e i n e subcortical ablaufenden, optischen Reflexe sein können, wie das ja auch durch klinische Beobachtungen bei totaler Rindenblindheit bewiesen ist".
Nach seinen Versuchen am Hund kam SCHUBERT (1929)

zu dem Ergebnis, daß das Zentrum für Korrektionsbewegungen bei bestehenden motorischen Asymmetrien, speziell aber Hyper- und Hypophorien, im oberen Teil des unteren Drittels des Gyrus centralis ant. zu suchen sei.

Nach ROELOFS' anatomisch-physiologischer Hypothese (1926) findet eine Fusionsbewegung nur dann statt, wenn die Lichtreize, die zwei disparate Netzhautteile treffen, mit hinreichender und nicht zu verschiedener Intensität zu demjenigen Teil der Hirnrinde durchdringen, in dem sie bewußte Wahrnehmungen hervorrufen. Durch ein System von gehemmten und erfolgreichen Impulsen komme es zu gegensinnigen, d.h. Fusionsbewegungen. Die Fusion sei daher an die Integrität sämtlicher Augenfunktionen gebunden. Obwohl die Fusion als psycho-optischer Reflex angesehen werden könnte, hat sich eine Psychotherapie bei Fusionsstörungen als völlig wirkungslos erwiesen (BEHR 1931).

BEST (1931) forderte im Hirnstamm eine von den Blickbewegungen getrennte Fusionsbahn. Eine Störung trete jedoch nur bei doppelseitigen Ausfällen auf, deren klinischer Nachweis leider selten erbracht werden könne.

Die Verschmelzung der selbständigen Einzelerregungen der jeweiligen Netzhautelemente finde in der Calcarina

unter Mitwirkung höherer, assoziativ verknüpfter Gebiete der lateralen Occipitalrinde mit optischer Gestaltungskraft statt. Der zentrale Reflexbogen für den Fusionszwang könne nur in der Calcarina gelegen sein, wobei eine erste Mitwirkung des Corpus geniculatum laterale und u.U. auch höherer Rindengebiete nicht ausgeschlossen sei.
Von BIELSCHOWSKY wird diese Hypothese bestritten. OHM (1933) verlegte den Schaltmechanismus der Fusion, das sog. supranukleäre Blickzentrum, von ihm auch als 'Hauptmuskelsender' bezeichnet, in den vestibulären Kernapparat. Diese Verbindung zwischen Sehrinde und Vestibulariskern läge in der absteigenden Sehstrahlung. Da die Fusion eine reflektorische, auf der Erregung disparater Netzhautstellen beruhende Erscheinung sei, habe sie mit dem Zentrum der willkürlichen Innervation der Augenmuskulatur im Stirnhirn und den von dort durch die innere Kapsel abwärtsziehenden Bahnen nichts zu tun. Sie benutze die von der Sehrinde absteigende motorische Sehstrahlung. Die Vestibulariskerne stellten einen wesentlichen Bestandteil des Fusionsmechanismus dar, da die absteigende Sehstrahlung in sie einmünde (OHM 1944).

Nach CHAVASSE (1939) kommt die Fusion, die lediglich eine motorische Reaktion, ausgelöst durch Reflexe, sein soll, dadurch zustande, daß ein Muster von zwei uniokularen Bildern zentral gewählt wird; zu einem Zeitpunkt könne nur ein Paar korrespondierender Areale arbeiten.

Ein Sinnesorgan besteht nach WECKERT (1939) aus:

1. einem Antransportapparat für den Reiz,
2. einer Einrichtung, in welcher der Reiz eine Erregung hervorruft und
3. einer Nervenverbindung zum Zentralnervensystem, die zu einer Wahrnehmung führt.

Fusion sei aber keine Nervenleitung von einer Deckschicht des cerebralen Doppelauges zur anderen, sondern lediglich eine Reizkopplung, die die beiden Bilder im Augenblick des Sehens zusammenlegt. Auf Grund von Tierversuchen sei erwiesen, daß die Fähigkeit zum Binokularsehen zu einer Verdoppelung der IV. Körnerschicht der Sehrinde geführt habe; die untere Lage der zentralen Doppelschicht gehöre zu der Netzhaut des entgegengesetzten und die obere zu der des gleichseitigen Auges.
Die Fusion entspreche als funktionelles Korrelat der anatomischen Zusammengehörigkeit der beiden benachbarten Körnerschichten. Bei Versagen re-

sultiere ein einseitiger Sehakt, und dieser einseitige Sehakt beinhalte eine relative Rindenblindheit des anderen Auges. Aus dieser relativen Rindenblindheit wiederum entspringe die perzeptorische Haltlosigkeit des Auges bei Fusionsmangel.
Fusion bedeutet nach WECKERT aber nicht allein die Verschmelzung, sondern auch gleichzeitig die Aufrechterhaltung beider Bildeindrücke. Ist keine Fusion vorhanden, so findet auch keine Verschmelzung statt, es falle auch die Wahrnehmung des Ergänzungsbildes zum binokularen Sehakt aus.

WINKELMANN (1949) sieht Fusion, Lokalisation und sichtbare Bewegung der Augen weniger als psychologische sondern vielmehr als physiologische Phänomene an. Sie stellten optische Reflexe dar, deren Korrelation durch die Impulse, die durch die Netzhaut bedingt sind, gewährleistet würden.

Nach JAENSCH (1954) gehören die Fusionsbewegungen in die Reihe der bedingten Reflexe, die von einem Fusionszentrum beherrscht werden. Sie stellten also Psychoreflexe dar, die zwar der Beeinflussung durch den Willen entzogen sind, deren Zustandekommen aber die Erregung der Aufmerksamkeit und somit eine Tätigkeit der Hirnrinde voraussetzt.

Das normale Binokularsehen, d.h. die Fusion und das räumliche Sehen, basiere auf der Integration der Reize, die beide Retinae erreichten (ROENNE 1956). Diese Integration finde in der Occipitalrinde statt und basiere auf einem anatomisch-physiologischen Substrat, das mit einem elektronischen Schaltwerk verglichen werden könne.
Die Beziehungsfläche des subjektiven Sehraumes ist bestimmt durch eine angeborene Kopplung der Paare von Ganglienzellen im Sehzentrum. Eine Kopplung zwischen anderen als diesen Zellen sei potentiell möglich, letztere Kopplungsart ergäbe die Tiefenwahrnehmung. Eine Bedingung für die Kopplung sei die Identität der zugeführten Energie in den beiden Schichten der Ganglienzellen und ferner, daß sich die Disparation innerhalb gewisser Grenzen befinde.
Wenn die Disparation eine gewisse Grenze überschritten hat, trachtet ein motorischer Impuls danach, diese Disparation zu verringern. Dieser Vorgang kann durch äußere Einflüsse gestört werden.

Bei LYLE und BIRDGEMAN (1959) findet man noch einmal eine Darstellung der zwei möglichen Auffassungen über den Fusionsmechanismus. Entweder besteht die Fusion aus einer echten Verschmelzung zweier ähnlicher Bilder, oder aber aus einem schnel-

len Wechsel der Reize korrespondierender Punkte jeder Netzhaut, wobei der Reiz der Netzhaut des Partnerauges synchron gehemmt wird.
Die Verfasser nehmen an, daß der erstere Vorgang der primitivere ist und letzterer die jüngere Entwicklungsstufe darstellt, zumal auch die Kreuzung der Sehnervenfasern im Chiasma opticum einen jüngeren Besitz in der Geschichte der Arten darstellt.

Im Anschluß an die bisherigen Darstellungen über die (vermuteten) zentralen Vorgänge der Fusion sei noch an eine Arbeit von SCHUBERT (1952) erinnert, die sich mit dem neuro-physiologischen Aspekt dieser Problematik befaßt.
Aus seinen Versuchsergebnissen schließt der Verfasser, daß eine Fusionsbewegung nur dann zum Ziele führt, wenn die Differenz der Impulsfrequenzen in den Opticusfasern ein bestimmtes Ausmaß nicht überschreitet. Daraus wiederum wird gefolgert, daß beim normalen Binokularsehen die Augenmuskelkerne beiderseits unter dem Einfluß der Impulsfrequenzen des Fixationsauges stehen. Sinken nun die Impulsfrequenzen in den ableitenden Opticusfasern des einen Auges um einen bestimmten Betrag ab, bedingt durch eine Verminderung der Leuchtdichte des dem einen

Auge zugehörigen Sehobjektes, so findet keine binokulare Fusion statt.

Führen aber beide Opticusfasern die gleichen reduzierten Impulsfrequenzen, dann ist die Fusion wieder normal. Das würde also bedeuten, daß die efferenten, motorischen Frequenzen den afferenten proportional sind und niedere Impulsfrequenzen von einem Auge her nicht über die Zwischenneuronenlager in die peripheren motorischen Neurone durchbrechen können. Da die beidseitigen Augenmuskeln auch Impulsen vom Blickbewegungsmechanismus unterstehen, müssen zwei verschiedene, nervöse Mechanismen vorliegen, denen eine Qualität des kontraktilen Substrats entsprechen muß, d.h. Muskelleistungen im Sinne von langsamen Bewegungen bzw. Dauerspannung, und davon unabhängig schnelle Muskelbewegungen z.B. bei Blickbewegungen von hoher Geschwindigkeit, also Vorgänge im Sinne von statischer und dynamischer Fusion. Die Endneurone der Fusionsbewegungen müßten also verschieden von denjenigen der Blickbewegungen sein.

Das würde eine zweifache motorische Innervation bedeuten und zwei voneinander unabhängige motorische Leistungen fordern, nämlich die Fusionsbewegungen und die Blickbewegungen.

Fusionsstörungen durch exogene Faktoren

GUILLERY (1900) war der erste, der experimentell untersuchte, durch welche äußeren Einflüsse sich die Fusionsbreite variieren ließe.
Er stellte nach Morphingaben eine Steigerung der Fusion fest, und zwar im Sinne einer Verstärkung der Divergenzfähigkeit und Steuerung der Raddrehung. Er deutete dies als Zeichen einer Intensivierung der Rindentätigkeit.
Durch eine toxische Lähmung der Hirnrindentätigkeit infolge hoher Dosen von Alkohol ergab sich eine Minderung der Fusion. Chloralhydrat bwirkte je nach Dosierung ein Abrücken des Fusionsnahpunktes und eine Schwächung der Divergenzfähigkeit. Diese Schwächung der Fusion machte sich noch nach 24 Stunden bemerkbar.
Eine ähnliche Wirkung wie Chloralhydrat hatten Trional, Chloroform und Äther.
Eine aktive Divergenzinnervation zur Überwindung von Prismen war möglich.
BESKOW (1937) konnte die Versuche von GUILLERY bestätigen. Er fand eine Herabsetzung der Fusionsbreite nach Gaben von 5 bis 15 cl Alkohol. Außerdem beobachtete er ein Näherrücken der Seitengrenzen des Blickfeldes nach Alkohol von 0^{o} bis 41^{o}, d.h.

bei einer Versuchsperson blieb die Diplopiegrenze konstant und bei einer anderen wanderte sie von 41^{o} auf 0^{o}.

OHM (1944) berichtete aus seiner Praxis über einen seltenen Fall von Fusionsstörung, wahrscheinlich bedingt durch einen vorübergehenden Mangel an Hormonen. Es handelte sich dabei um einen 60jährigen Patienten, bei dem sich im Anschluß an die Entleerung der Samenblase per coitum alle 4 Wochen erhebliche Fusionsstörungen, Drehschwindel und Nystagmus einstellten.
OHM nahm eine Störung im zentralen vestibulären Kernapparat an, in den auch die Sehstrahlung einmünde.

CHARNWOOD (1950) geht in einer ersten Arbeit der Frage nach, warum nach Masern und Keuchhusten die Kinder häufig zu schielen beginnen. Er kommt zu dem Schluß, daß es sich um eine Intoxikation handeln müsse.
In der zweiten Arbeit greift CHARNWOOD noch einmal nach GUILLERY (1900) und BESKOW (1937) die Bedeutung des Alkohols als Ursache einer Fusionsstörung auf. Seiner Meinung nach ist das alkoholische Doppeltsehen bedingt durch eine verminderte Fähig-

keit, Doppelbilder zu verschmelzen oder sie zu unterdrücken.
Das Auftreten von Doppelbildern bei akuten Exanthemen mag bedingt sein durch die Wirkung von Toxinen, vergleichbar denen des Alkohols.

"Fusionsreaktion" (SCHUBERT und BURIAN)

Nur am Rande mag noch über eine Beobachtung von SCHUBERT und BURIAN (1937) berichtet werden, die SCHUBERT (1937) dann in anderem Zusammenhang noch einmal erwähnt. Es wird beschrieben, daß der Übergang aus binokularer zu monokularer Fixation ohne Blickänderung beider Augen eine konsensuelle Pupillenerweiterung auslöse; die Wiederaufnahme der binokularen Fixation löse Pupillenverengerung aus. Die Pupillenreaktion sei mit der Fusion verknüpft und es wird von den Autoren die Bezeichnung "Fusionsreaktion" vorgeschlagen.

Fixation disparity (OGLE)

Retinal slip, Subnormales Binokularsehen

OGLE (1949) geht davon aus, daß die herkömmlichen Messungen der Fusionskraft mittels Prismen nicht von dem Konvergenzmechanismus und damit von der Zusammenarbeit der Augenmuskeln getrennt werden könnten. Denn bei allen Untersuchungen mit Prismen gehen drei Größen in die Messungen ein:

"1. der Grad der erzwungenen Konvergenz (oder Divergenz)
2. die Stärke des reflektorischen Fusionszwanges
3. das Ausmaß, in dem der ansonsten normale Akkommodations-Konvergenzreflex verändert oder gehemmt wird".

Im Experiment sähe man, daß trotz des Zwanges, die Bilder beider Augen so nahe wie möglich auf korrespondierenden Netzhautpunkten zu halten, eine kleine Abweichung der Augen aufträte.
Wenn zwei gleiche Bilder im Stereoskop betrachtet werden, dann werden sie unter normalen Bedingungen nur eine einzige Empfindung hervorrufen, und man sagt, daß beide Bilder fusioniert worden sind.

Wenn man nun ungleiche und nicht fusionierbare Einzelpunkte in die Mitte eines jeden dieser Bilder bringt, so erscheinen diese Einzelpunkte dezentriert,

d.h. sie scheinen gegeneinander verschoben, obwohl das übrige Bild, bestehend aus identischen Bildpunkten, fusioniert wird. Diese Verschiebung tritt besonders dann auf, wenn der Beobachter eine Heterophorie aufweist oder der Konvergenzreiz verändert ist. Dieser Vorgang wird als fixation disparity, subnormales Binokularsehen und früher auch als retinal slip bezeichnet; das soll besagen, daß das Netzhautbild des Fixationspunktes in Wirklichkeit disparat sein kann. OGLE räumt die Priorität für die Untersuchung dieses Phänomens LAU ein.
Das Phänomen des subnormalen Binokularsehens schließt ein, daß auch die kortikalen Bilder, von beiden Retinae ausgehend, in ihrer Lokalisation zueinander verrutscht oder verschoben sind.

Die fixation disparity beweise, daß auch dann, wenn eine Neigung zur Dissoziation der Bilder z.B. bei einer Heterophorie vorliege, eine Verschmelzung der Bilder immer noch aufrechterhalten werden könne.
Die Größe der fixation disparity, als ein Maß für die Verschiebung der kortikalen Bilder, wird von den Belastungen durch die Heterophorien, der Stärke der Fusionskraft und der Gesamtheit aller Einzelteile im binokularen Gesichtsfeld abhängen.

Die Ergebnisse der Arbeiten von OGLE (1949, 1950, 1951) kann man in folgende Punkte zusammenfassen:

1. das Subnormale Binokularsehen hängt ab
   a) von der Stärke der Innervation der Augenmuskeln während der Fusion,
   b) von dem Grad der Heterophorie,
   c) von der Fusionskraft an sich und
   d) von der Gesamtheit und Verteilung der Einzelheiten im binokularen Gesichtsfeld.
2. das Subnormale Binokularsehen ist ein Maß für das Muskelungleichgewicht beider Augen während der Fusion,
3. das Subnormale Binokularsehen geht meistens in die gleiche Richtung wie die Heterophorie, eine Umkehrung ist jedoch auch möglich,
4. die Größe des Subnormalen Binokularsehens wird durch Prismen nicht beeinflußt,
5. bei peripherer Fixation wird das Ausmaß des Subnormalen Binokularsehens mit sich vergrösserndem PANUMschen Areal größer.

JAMPOLSKY (1951) gibt zu bedenken, daß die Fusion, die nach seiner Ansicht bei geringen Graden von Esotropien vorkommt, häufig als Esophorie bei normaler Korrespondenz jedoch mit einem subnormalen Binokularsehen bzw. einem retinal slip fehl-

gedeutet würde. Nach JAMPOLSKY zeigen Patienten mit einem retinal slip am Synoptophor eine zentrale Unterdrückung, weil im Zentrum der Netzhaut der PANUMsche Bereich kleiner als in der Peripherie sei.

Nach LYLE und FOLEY (1955) ist unter Subnormalem Binokularsehen ein Zustand von binokularem Einfachsehen bei Fehlen einer bifovealen Fixation zu verstehen. Das Subnormale Binokularsehen bei Strabismus zeige folgende charakteristische Merkmale:

1. konstante, leichte, monokulare Esotropie (der Schielwinkel kann beim Cover-Test zunehmen),
2. Deviationswinkel von 5° oder weniger,
3. Fusion mit einer Fusionsbreite von ca 15°,
4. stereoskopisches Sehen in einigen Fällen.

Induzierter Effekt (induced effect), Induzierter Größeneffekt (induced size effect) OGLE

In seinen Arbeiten von 1938 und 1939 berichtet OGLE über zwei Erscheinungen, die er "induced effect"

und "induced size effect" nennt.
Er erinnert an die Tatsache, daß ein stereoskopischer Eindruck dann entsteht, wenn die Bilder, die jedem Auge angeboten werden, eine geringe Disparation in der Horizontalen aufweisen. Ruft man nun eine Größendifferenz der Bilder beider Augen in der Horizontalen hervor, (es wurde von OGLE zu diesem Zwecke eine besondere Linse, die er als 'size'-Linse (1938) bezeichnet, entwikkelt) so habe man den Eindruck, als habe sich das binokular wahrgenommene Bild gedreht. Dieses Phänomen, auf das OGLE ganz unerwartet stieß, nannte er den 'induzierten Effekt', weil er nur durch das Vorsetzen der 'size'-Linse hervorgerufen werden kann.
Diese 'size'-Linse, welche die unterschiedlichen Bildgrößen erzeugt, besitzt eine rein vergrößernde Wirkung.
Der induzierte Effekt stelle keine feste Größe dar, sondern ließe sich bis zu einem gewissen Wert steigern; und zwar werde sein Maximum bei einem Größenunterschied der Bilder von 5% oder 6% erzielt. Sei das Maximum einmal erreicht, und steigere man dennoch die Größendifferenz der Bilder weiter, so sei kein sofortiges Zusammenbrechen des Effektes zu beobachten, er bliebe

vielmehr noch eine Zeitlang bestehen. Der 'induzierte Größeneffekt' besagt, daß sich ein Bild auch im horizontalen Durchmesser vergrößert, wenn man den Augen verschieden große Bilder anbietet, die nur in vertikaler Richtung variieren. Der induzierte Größeneffekt tritt nur dann auf, wenn im binokularen Feld zwei vertikal disparate Konturen, die eine vertikale Fusion anregen, vorhanden sind. Der induzierte Größeneffekt wird als Bemühen gedeutet, zwei vertikale Konturen zu fusionieren.

Horror fusionis

Unter Horror fusionis verstehen HERZAU (1943) und HAMBURGER (1960) die Unfähigkeit, dargebotene Halbbilder zur Verschmelzung zu bringen, ohne daß motorische Hindernisse vorliegen.
Für JAENSCH (1945/46) besteht der Horror fusionis in der Unfähigkeit zur Fusion wegen mangelnder simultaner Perzeption.
Nach ROENNE (1956) sollte die Bezeichnung Horror

fusionis für solche Patienten vorbehalten bleiben, die folgende Charakteristika aufweisen:

1. fehlende Fusionsbewegungen,
2. fehlender Wettstreit,
3. fehlende Stereopsis und
4. fehlende simultane Perzeption.

BURIAN sieht in dem Horror fusionis eine Dissoziation der Foveae.

Netzhautperipherie

Der Reizwert eines Objektes für die Netzhautperipherie ist abhängig von seiner Größe bzw. seiner Lichtintensität. Größere Objekte haben niedrigere Schwellenwerte (also höhere Reizwerte) als kleinere. Größere Objekte können noch bei solchen Lichtintensitäten wahrgenommen werden, die für kleinere bereits unterschwellig sind. (PIPER 1903.)
Nach OGLE (1939) nimmt die Empfindlichkeit der Retina für Fusionsreize zur Peripherie hin ab.
Zur gleichen Zeit untersuchte BURIAN insbesondere die Netzhautperipherie hinsichtlich ihrer Fusionsfähigkeit. Er wies als erster auf die bis dahin

unbeachtete Tatsache hin, daß auch streng peripher gesetzte Netzhautreize Fusionsbewegungen hervorrufen können. Die Richtung der Bilddisparation bestimme die Richtung der Fusionsbewegungen. Der Erfolgswert eines peripheren Reizes sei neben der geometrischen Größe und der Helligkeit des Reizobjektes abhängig von der Exzentrizität des Objektes zur Gesichtsfeldmitte. Quadrate von $0{,}5^{\circ}$ oder 1° riefen noch Fusionsbewegungen hervor.

BURIAN hatte sogar einen Innervationsrest nach der Fusion solcher peripherer Bilder festgestellt. Auf Grund dieses tonischen Innervationsrestes schrieb er den peripheren Fusionsinnervationen einen gewissen Einfluß auf die Stellung der Augen zu.

BURIAN vertrat damals die Ansicht, daß periphere Reize sogar stark genug sein könnten, um die zentrale Fusion aufzuheben, vorausgesetzt, daß sie über eine ausreichende Größe verfügten.

1941 untersuchte BURIAN dann 75 Patienten mit kleinen Schielwinkeln und normaler bzw. nahezu normaler Sehschärfe, verbunden mit permanenter oder zeitweilig normaler Netzhautkorrespondenz. Dabei fand er, daß in vielen Fällen sogar typische Fusionsbewegungen hervorzurufen waren, jedoch nur

unter Anwendung peripherer Netzhautreize. Andererseits aber konnten Patienten, die zu fovealer Simultanperzeption fähig waren, in der Regel periphere Reize n i c h t fusionieren.
"Fusionsbewegungen, hervorgerufen durch periphere Netzhautreize, findet man nur bei Patienten mit einer sensorischen Störung der zentralen Teile ihrer Netzhaut. Ist keine zentrale sensorische Störung vorhanden, so unterdrückt der Patient das Bild der Peripherie."
BURIAN spricht sogar von einem gewissen Antagonismus zwischen dem sensorischen Verhalten der zentralen und peripheren Anteile der Netzhaut.
1947 betont BURIAN noch einmal den Wert der Peripherie in der orthoptischen Behandlung und empfiehlt, sich bei den Fusionsübungen von der Peripherie her langsam zur Fovea vorzutasten. CAMPBELL (1947) sieht sogar in der Bedeutung, die die Netzhautperipherie für die Fusion hat, eine mögliche Ursache des Schielens, und zwar dann, wenn die Eindrücke der Peripherie über diejenigen der Fovea dominieren.

OGLE (1950) fand, daß Objekte, die unter einem Winkel von $0{,}5^{\circ}$ erscheinen, noch bei einer Exzentrizität von 22° (in der Peripherie der Retina)

Fusionsbewegungen erzeugen.

WINKELMANN (1951) führte die Untersuchungen im Sinne BURIANs weiter und untersuchte einige Kriterien für die Fusion der Netzhautperipherie: Bei sehr kurzer Darbietungszeit eines peripheren Reizobjektes blieb die zentrale Fusion bestehen. Bei längerer Exposition (1sec) zeigte sich in allen Fällen periphere Fusion. Die Intensität der peripheren Fusion verringert sich mit dem Abstand von der Makula. Dieser Abfall kann jedoch durch Vergrößerung des peripheren Reizobjektes wieder ausgeglichen werden; denn das Maß der peripheren Fusion nimmt mit der Größe der Objekte zu. Größere Helligkeit setzt einen größeren Fusionsreiz als geringere. Zusammenfassend kann man sagen, daß nach WINKELMANN die periphere Fusion einem Optimum zustrebt, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

1. lange Darbietungszeit,
2. Projektion auf paramakulare Gebiete,
3. hinreichende Größe des peripheren Objektes,
4. hinreichende Helligkeit des peripheren Objektes.

In einer weiteren Untersuchung wählte WINKELMANN (1953) folgende Versuchsanordnung:
der Fovea des einen Auges wurde das Bild eines

Gitters unter dem Winkel von $3,5^{\circ}$ angeboten, dem anderen Auge das eines Schädels unter dem Winkel von 2°. Dabei beobachtete er das Phänomen der Rivalität, d.h. der Schädel blieb nicht in dem Gitter. Daraus schloß er, "daß Fusionsbewegungen für foveale Bilder nur dann möglich sind, wenn diese zu einem einzigen, zentralen Bild vereinigt werden können". Bot er nämlich die gleichen Bilder der Netzhautperipherie an, so konnte er Fusionsbewegungen beobachten. Er nahm an, daß bei diesen Vorgängen ein primitiver Reflex zutage tritt, der nach KEINER (1951) schon bei Säuglingen vorhanden sein soll.

LYLE und FOLEY (1955) untersuchten u.a. die Frage der Dominanz der Netzhautperipherie bei der Fusion und erwarteten im Sinne von BURIAN und OGLE eine Störbarkeit der zentralen Fusion durch die periphere. Das Ergebnis zeigte jedoch, daß bei einer Versuchsserie von 50 Patienten mit binokularem Einfachsehen nur bei 10 Probanden zentrale Diplopie (in einer Versuchsanordnung mit polarisiertem Licht) erregt werden konnte.
Auch HAMBURGER (1960) hält die Netzhautperipherie bei genügender Aufmerksamkeit des Beobachters und ausreichender Größe des Objektes für fusionstüchtig.

Einordnung der eigenen Arbeit in die vorliegende Literatur

Den Anstoß zu den eigenen Untersuchungen bilden einerseits die Veröffentlichungen von BURIAN (1939, 1941, 1947) über die Bedeutung der Netzhautperipherie für die Fusion und andererseits die Arbeiten von DODEN und PROTONOTARIOS (1960) über die Abhängigkeit der Fusionsbreite von der Größe der dargebotenen Fusionsbilder (Untersuchungen an Kindern zwischen 4 und 12 Jahren).

BURIAN hatte als erster die Bedeutung der Netzhautperipherie für die Fusion betont, nämlich "daß nicht nur zentrale sondern auch streng periphere Reize typische Fusionsbewegungen hervorrufen können". Ursprünglich meinte er, daß periphere Fusionsreize unter normalen Sehbedingungen die zentrale Fusion sogar brechen könnten, wenn sie nur einen genügend großen Reizwert besäßen. 1941 und 1947 schränkte er seine Behauptung dann insofern ein, als Fusionsbewegungen nur dann durch prävalierende periphere Netzhautreize hervorgerufen werden könnten, wenn bei den Prüflingen sensorische Störungen des Netzhautzentrums vorlägen. Fehle eine solche sensorische foveale Störung, so würden die peripheren

Fusionsreize einfach exkludiert. Wie oben bereits erwähnt, nimmt BURIAN einen gewissen Antagonismus an, der zwischen dem sensorischen Verhalten der zentralen und der peripheren Netzhaut bestehen soll.

DODEN und PROTONOTARIOS (1960) sind aufgrund ihrer Untersuchungen der Meinung, daß es bei Kindern eine strenge Abhängigkeit zwischen der geometrischen Größe der angebotenen Fusionsobjekte und der jeweils erreichbaren Fusionsbreite gibt. Es wird ein Verhältnis der Fusionsbreite nach innen von großen Bildern ($8^{o}30'$) zu kleinen (1^{o}) wie 5:1 angegeben. Für die Fusionsbreite nach außen bei den gleichen Bildern sei das Verhältnis 2:1.

In den nachfolgenden eigenen Untersuchungen sollte vorerst nachgeprüft werden, in welchem Maße die Fusion in Abhängigkeit von der Objektgröße beeinflußt wird. Wir wollten also wissen, wie der bislang unterstellte Funktionalzusammenhang zwischen Größe des Reizobjektes und Fusionsbreite genauer zu beschreiben ist.

Auf den ersten Blick erscheint unsere Fragestellung überflüssig, denn die Arbeiten von DODEN und PROTONOTARIOS geben hierüber offenbar hinreichend Auskunft.

Die Veranlassung zu neuerlichen Untersuchungen ergab sich uns aber aus der täglichen Erfahrungstatsache, daß die Fusionsbreitenmessung an Erwachsenen mit Hilfe des Synoptophors und Fusionsbildern von 10° Durchmesser regelmäßig höhere Werte ergibt als die sog. Fusionsbreitenmessung im freien Raum, die am Maddox-Kreuz in 5 m Abstand mittels Prismenleisten durchgeführt wird. Hierbei hat der Patient bekanntlich die Glühlampe in der Kreuzmitte zu fixieren; die Untersuchung findet im hellen Raum (Tageslicht) statt.

Die Werte der beiden genannten Fusionsbreitenmessungen unterscheiden sich nicht selten um den Faktor 1,5 bis 2. Wie läßt sich diese Diskrepanz erklären?

Bei oberflächlicher Betrachtung drängt sich das Argument auf, daß das kleine Fixationslicht des Maddox-Kreuzes mit einem Durchmesser von etwa $0{,}1^{\circ}$ eben einen wesentlich geringeren Fusionsreiz darstelle und so geradezu folgerichtig zu einer geringeren Fusionsbreite führe.

Diese Erklärung trifft aber nicht korrekt zu.

Denn der Patient nimmt in dem taghellen Raum nicht

nur die Fixierlampe, sondern darüber hinaus das gesamte Tangentenkreuz wahr, dessen vertikaler sowie horizontaler Schenkeldurchmesser immerhin 20^{o} beträgt. Genau genommen erhält der Proband auch periphere Seheindrücke von der Zimmerwand und den Zimmerecken. Das bedeutet also - wenn man von den Leuchtdichteunterschieden vorerst absieht -, daß die geometrischen Dimensionen des (gesamten) Reizobjektes beim Prismenversuch innerhalb des freien Raums sogar wesentlich größer sind als am Synoptophor.

Wollte man also lediglich von der Reizobjektgröße her auf eine zugeordnete Fusionspotenz folgern, so müßten eigentlich Ergebnisse zutage treten, die gerade das Gegenteil dessen zeigen sollten, was man im täglichen Experiment tatsächlich vorfindet. Wahrscheinlich treten bei Fusionsmessungen mehrere Parameter auf, die wir noch nicht hinreichend übersehen und die noch dazu von Untersuchungsmethode zu Untersuchungsmethode unterschiedlich sind. Wir fürchten, daß die beiden genannten Meßvorgänge (Synoptophor, Untersuchung im freien Raum mit Prismenleiste) nicht ohne weiteres - d.h. in unzulässiger Weise extrapolierend - miteinander verglichen werden dürfen. Sicher fordert CÜPPERS zu Recht, der Methode im freien Raum als natürlicherer Konstellation den Vorzug zu geben.

Diskutiert man nun den Untersuchungsvorgang der Fusionsbreitenbestimmung am Syoptophor etwas näher, so bleibt festzuhalten, daß hier das Fusionsbild (definierten Durchmessers) in einem großen, kreisförmigen Leuchtfeld angeboten wird, dessen Durchmesser ein Vielfaches des eigentlichen Prüfobjektes ist. Daß dieses Leuchtfeld, das man als eine Art Bildhintergrund mit recht kontrastreicher Begrenzung bezeichnen kann, ebenfalls einen nennenswerten Reiz für die periphere Fusions darstellt, erscheint uns zweifelsfrei. Bei solchem Untersuchungsgang bleibt es also vorerst noch offen, welcher der beiden Reize - entweder der eigentlich gemeinte zentrale des Fusionsbildes, oder der mehr unbeabsichtigte periphere des sozusagen schwarz eingerahmten Umfeldes - das Primat besitzt. Ob außerdem dem Farbcharakter der üblicherweise bunten Synoptophor-Bilder eine modulierende Bedeutung zukommt, sei bedacht, aber bleibt ebenfalls offen.

Um die Vielzahl der angedeuteten Störmöglichkeiten zu eliminieren, entschlossen wir uns zu einer Untersuchungsanordnung, die, soweit überhaupt möglich, vereinfacht sein sollte. Die Untersuchungen

wurden im absolut dunklen Raum durchgeführt. Wir haben peinlich darauf geachtet, daß nicht irgendwelche Lichtreflexe (Zimmerwände, Fußboden usw.) auftraten, weil sie als unerwünschte und vornehmlich als kaum zu kontrollierende Fusionshilfen Verfälschungen mit sich gebracht hätten.

Das Fusionsobjekt selbst bestand aus vier einzelnen kleinen Lichtquellen konstanter Leuchtdichte und homogener Lichtverteilung, die in Form einer Raute angeordnet wurden. Das heißt, die geometrisch eindeutige Rautenfigur war genau genommen nur angedeutet durch die vier kleinen Lichtquellen, die die Rautenecken markierten.

Zeitweise benutzten wir zusätzlich eine fünfte, rotgefärbte Lichtquelle gleicher Größe, die dann im gedachten Schnittpunkt der Rautendiagonalen, also im Zentrum der Figur stand. Sie diente als definierter Fixationspunkt. Eine Größenänderung dieses rautenförmigen Fusionsobjektes wurde lediglich dadurch erzielt, daß man die weißen Markierungslichter in einen grösseren oder geringeren Abstand zum roten Fixationslicht rückte.

Diese sehr einfache Experimentalanordnung bringt den Vorteil mit sich, daß der Gesamtbetrag des in das Probandenauge einfallenden Lichtstroms stets konstant bleibt. Bei größer oder kleiner ausgelegter Rautenform bleibt demnach - unabhängig von der "Flächengröße" der Reizfigur - die gesamte Summe aller Lichtreize mit Sicherheit gleich.
Durch diesen Kunstgriff kommt man recht einfach um die prinzipielle Entscheidungsschwierigkeit herum, ob eine Zunahme der Fusionsbreite bei Verwendung eines (üblichen realen) größerflächigen Reizobjektes nun entweder durch die Inanspruchnahme vielleicht fusionswirksamerer peripherer Netzhautabschnitte bedingt sei oder lediglich durch den im Grunde banalen totalen Reizzuwachs, den eine größere Reizfläche des Objektes notgedrungen mit sich bringt.
Neben Untersuchungen mit der punktmarkierten Rautenfigur haben wir später auch solche mit vollflächigen (projizierten) weißen Rautenfiguren durchgeführt. Der räumliche Abstand des Probanden zur Reizfigur betrug stets 5 m.

EIGENE UNTERSUCHUNGEN

Versuchsbedingungen

Die Versuchsperson saß in einem sorgfältig abgedunkelten Raum auf einem Schemel in 5 m Entfernung von einer mit mattschwarzem Papier abgedeckten Zimmerwand. An dieser Wand befand sich die für die erste Versuchsreihe benötigte Lichtquellenandordnung (punktmarkierte Raute) und später für die zweite Versuchsreihe eine weiße rautenförmige Projektionsfläche.

Da es kaum zu vermeiden war, daß der Fußboden Glanzlicht von den Reizlichtern her diffus reflektierte, wurde eine 85 cm lange, leicht trichterförmige und mit schwarzem Samt ausgekleidete Röhre gebaut, deren kopfnahe Öffnung einen Durchmesser von 30 cm und deren kopfferne Öffnung einen Durchmesser von 25 cm hatte. Der kopfferne Trichterrand war für den Probanden nicht wahrnehmbar.
Die Abmessungen der Röhre waren allein durch die Forderung bestimmt, die für die Versuche notwendige Bildgröße der Reizobjekte dem Beobachter freizugeben und alle übrigen Lichtreize auszuschalten.

Die Röhre ruhte auf einem Holzgestell in Augenhöhe

des Probanden. Durch scheuklappenähnliche rückwärtige Ausziehungen der Röhre war es der Versuchsperson zwanglos möglich, die Prismenleisten vor den Augen zu bewegen, ohne daß störendes Seitenlicht zu befürchten war.

Zur Messung der Fusionsbreite im freien Raum wurden die üblichen Prismenleisten von CLEMENT CLARKE (England) benutzt. Die Prismenleiste für die horizontale Fusionsbreite weist Werte von 2 bis 45 pdpt auf und diejenige für die vertikale Fusionsbreite Prismenwerte von 1 bis 20 pdpt.
Für die Bestimmung der Fusionsgrenze mit abduzierenden Prismen (im Sinne einer Divergenz der Augen) ist die Prismenleiste ausreichend dimensioniert, so daß der genaue Grenzwert in allen Fällen bestimmt werden konnte. Anders stellte sich die Situation jedoch bei der Bestimmung der Fusionsgrenze durch adduzierende Prismen (im Sinne einer Konvergenz) dar. Ein Teil der Probanden vermochte auch das stärkste adduzierende Prisma ohne Schwierigkeiten bzw. ohne das geringste Gefühl der Ermüdung zu überwinden. Solchen Probanden wurde dann (in einem Probierbrillengestell) noch zusätzlich 10 bzw. 20 pdpt vorgesetzt. Auf diese Weise ließ

sich wenigstens bei einem Teil der Versuchspersonen die Fusionsbreite im freien Raum voll bestimmen. Bei einem Rest der Untersuchten konnte aber selbst auf diese Weise der korrekte Grenzwert nicht bestimmt werden. Solche Werte sind dann in den Tabellen mit einem Pfeil (→) gekennzeichnet.
Es mag eingewendet werden, daß die Kombination von Prismenleiste und Zusatzprisma keine exakten Angaben über die Fusionsbreite liefere, weil die Abbildungsbedingungen bei so hohen Prismenwerten dann zu mangelhaft würden. Das ist richtig, aber das Ziel der Untersuchungen war nicht, den maximal überhaupt möglichen Adduktionswert des Probanden festzulegen, entscheidender war die Änderung der Werte bei verschiedenen Versuchsbedingungen (Variation der Reizobjektgröße) zu registrieren. Unter diesem Gesichtspunkt wurden auch die bei der Prismenkombination auftretenden farbigen Verzeichnungen inkauf genommen, zumal sie betreffs ihrer optischen Mangelhaftigkeit für alle Untersuchungsgänge gleichartig waren.

Vor jedem Versuch wurde für jeden Probanden die Fusionsbreite am Synoptophor mit den Bildern C4 ($8^{o}30'$) und C 54 (10^{o}) bestimmt. Benutzt wurde der Synoptophor nach CÜPPERS, den die Firma OCULUS baut.

Mit jedem neuen Probanden wurde eingangs das ruckweise Vorbeiführen der Prismenleiste vor dem Auge geübt; dabei wurde die Auflage gemacht, das Auftreten von Doppelbildern peinlich zu beachten und sofort die Prismenstärke anzugeben, die gerade nicht mehr überwunden werden kann.

Da es sich bei den Versuchspersonen ausschließlich um Medizinstudenten und zwei Orthoptistinnen handelte, die die Problematik der Versuche schnell erfaßten, konnten recht rasch zuverlässige Angaben erzielt werden.
Alle Probanden wurden gleichmäßig ermahnt, in der maximalen Innervation der Augenmuskeln während des Versuches nicht nachzulassen, da besonders bei Beanspruchung der Divergenz rasch eine Ermüdung eintrete.

Um die Beeinflussung der Ergebnisse durch den tonischen Innervationsrest möglichst klein zu halten, boten wir der Versuchsperson die Prismen in einer Versuchsreihe stets abwechselnd mit der Basis nach innen und anschließend dann mit der Basis nach außen an.

Die gefundenen Werte wurden in der Weise abgelesen, daß die Versuchsperson entweder selbst die überwundenen Prismen mitzählte und bei Auftreten von Doppelbildern die erreichte Prismenstärke angab, oder der Proband wurde aufgefordert, die Augen zu schließen und der Untersucher las das mit dem Finger des Probanden markierte Prisma ab. Jeder Wert wurde dreimal bestimmt und daraus der Mittelwert ermittelt. Daraus ergibt sich in der Tabelle die Stelle hinter dem Komma.

Erste Versuchsreihe

Bei der ersten Versuchsreihe war die Frage gestellt, inwieweit die gleichzeitige Reizung der Netzhautperipherie in der Lage sei, die Fusion fovealer Bilder zu beeinflussen.

Versuchsanordnung

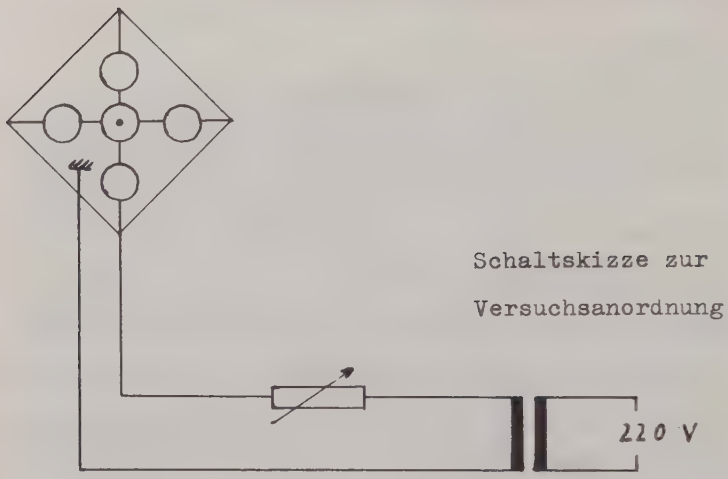
Auf einem mattschwarzen, rhombenförmigen Brett mit der diagonalen Länge 1 m waren längs jeder Diagonalen eine schwarze Metallschiene angebracht, die an eine Stromquelle angeschlossen war. Das Brett war so an der Wand aufgehängt, daß sich der Schnittpunkt der Diagonalen ("Zentrum") in Augenhöhe des Probanden befand.
Auf der senkrechten und der waagrechten Schiene waren je zwei verschiebliche Lampen angebracht. Die Lampen waren aus schwarzen Blechzylindern gefertigt. Der Zylinderboden besaß einen Aluminiumschuh, dessen Einkerbung die Verschieblichkeit auf der Schiene ermöglichte. Am Zylinderboden war eine matte Taschenlampenglühbirne (6 Volt, 3 Watt) befestigt. Der dem Beobachter zugewandte Abschluß des Zylinders (Frontseite) besaß eine weiße Milch-

glasscheibe, die ein homogenes, diffuses Licht abstrahlte.

Die Variation der Leuchtflächen erfolgte durch Vorsetzen von (schwarzen) Blenden vor die Zylinderfrontseite. Die runden Blendenöffnungen besaßen Durchmesser von d = 0,5 cm bzw. d = 3 cm.

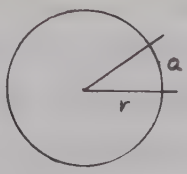
Alle metallischen Bestandteile dieser Versuchsanordnung waren mattschwarz gestrichen. Die Glühbirnen wurden bei Unterspannung betrieben; die elektrischen Daten mit Hilfe eines Regeltransformators konstant gehalten.

Das Fixationslicht im diagonalen Schnittpunkt (Zentrum) war außer mit einer Milchglasscheibe noch mit einem roten Glasfilter versehen. Seine Blendengröße betrug d = 0,5 cm. Diese rote Lichtquelle, die es zu fixieren galt, stellte gleichermaßen den foveolaren Reiz als auch eine Fixationshilfe für das "visuelle Festhalten" des Zentrums der Rautenfigur dar. Auf diese Weise war gesichert, daß während des Prüfaktes die Ecklichter der Rautenfigur stets den gleichen perizentralen bzw. peripheren Netzhautabschnitt beleuchteten.



Schaltskizze zur Versuchsanordnung

Für die Berechnung der Winkel, unter denen die Durchmesser der einzelnen Leuchtflächen (Ecklichter) von d = 5 mm und d = 30 mm dem Auge des Beobachters erschienen, gilt:



r = 5 m = 5 000 mm

a = 5 mm (30 mm)

$U = 2\,r\,\pi$

$U = 2 \cdot 5000 \cdot 3{,}141459\ \text{mm} = 31415{,}9\ \text{mm} = 360^{\circ}$

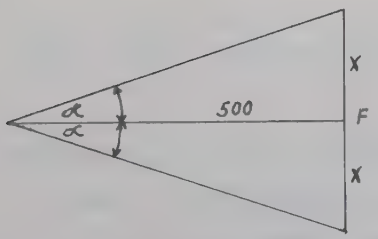
$5\ \text{mm} = \frac{360 \cdot 5}{31415{,}9} = 0{,}0572^{\circ} = 3'26''$

$30\ \text{mm} = \frac{360 \cdot 30}{31415{,}9} = 0{,}34^{\circ} = 20'24''$

Die Leuchtfläche von d = 5 mm wird gesehen unter einem Winkel von ca 3'26'' und diejenige mit dem Durchmesser von 30 mm unter dem Winkel von 20'24''.

Für die Anordnung der diametralen Abstände der weißen Lichter zueinander (Rautenfigur) wurde festgelegt:
Die Lichter sollten wahlweise in drei verschiedenen Abständen zueinander angeboten werden können (Variation der Rautengröße). Als größter diagonaler Abstand zwischen zwei Lichtern war der Wert von 10^{o} vorgesehen, weil auch bei der Vergleichsuntersuchung am Synoptophor ein Bild mit dem Durchmesser von 10^{o} benutzt wurde. Die übrigen Abstände wurden willkürlich zu $6,6^{o}$ und $3,3^{o}$ gewählt.

Die Abstände wurden wie folgt berechnet (vierstellige logarithmische und trigonometrische Tafeln von F.G.GAUSS (1952)).



Skizze zur Berechnung des Abstandes der Lämpchen vom Fixationspunkt F

1.) $2\alpha = 10^{\circ}$

$\alpha = 5^{\circ}$

$\operatorname{tg}\alpha = \frac{x}{500}$

$\operatorname{tg} 5^{\circ} = \frac{x}{500}$

$x = \operatorname{tg} 5^{\circ} \cdot 500 = 0{,}0875 \cdot 500 \approx 43{,}78\ [\text{cm}]$

Um dem Auge unter einem Winkel vom 10° zu erscheinen, müssen die Lämpchen jeweils 43,78 cm vom Fixationspunkt F entfernt befestigt werden.

2.) $2\alpha = 6{,}6^{\circ}$

$\alpha = 3{,}3^{\circ} = 3^{\circ}18'$

$\operatorname{tg}\alpha = \frac{x}{500}$

$x = \operatorname{tg} 3^{\circ}18' \cdot 500 = 0{,}05752 \cdot 500 = 28{,}76$

Um dem Auge unter einem Winkel von $6{,}6^{\circ}$ zu erscheinen, müssen die Lämpchen jeweils 28,76 cm vom Fixationspunkt F entfernt befestigt werden.

3.) $2\alpha = 3{,}3^{\circ}$

$\alpha = 1{,}65^{\circ} = 1^{\circ}39'$

$\operatorname{tg}\alpha = \frac{x}{500}$

$x = \operatorname{tg} 1^{\circ}39' \cdot 500 = 0{,}02881 \cdot 500 = 14{,}41$

Um dem Auge unter einem Winkel von $3{,}3^{\circ}$ zu erscheinen, müssen die Lämpchen jeweils 14,41 cm vom Fixationspunkt F entfernt befestigt werden.

Versuch I

Um die Beeinflußbarkeit der Fusionsbreite durch die beschriebene Versuchsanordnung zu prüfen, wurden primär orientierende Versuche mit verschieden großen Rautenfiguren und Reizlichtern verschiedener Leuchtflächengröße an drei Personen durchgeführt.

Die Extremwerte für ab- und adduzierende Prismen wurden bestimmt. Kriterium war das Auftreten von Doppelbildern.

Die angegebenen Zahlen der Tabelle 2 stellen Mittelwerte aus jeweils 6 Messungen dar (an jedem Auge 3 Messungen).

Der Pfeil (→) soll für adduzierende Prismen anzeigen, daß die Werte der gesamten Prismenleiste fusioniert werden konnten und hier der effektive Grenzwert nicht festliegt.

Versuch II

Da es sich in dem ersten Versuch gezeigt hatte, daß die Größe der die Rautenfigur markierenden Leuchtflächen keinen Einfluß auf die Fusionsbreite hatte, wurden die großen Blenden mit der Öffnung von d = 3 cm nicht mehr verwandt, sondern nur noch die kleinen mit dem Durchmesser 0,5 cm = 3'26''.
Die sechs weiteren Versuchspersonen haben den Vorteil, daß ihre Fusionsbreite im meßbaren Bereich der Prismenleiste, verstärkt durch 20 pdpt eines Zusatzprismas, liegt. (T a b e l l e 3.)

Versuch III

Auf der Suche nach eindeutigeren Aussagen über die Verhältnisse bei der perizentralen bzw. peripheren Fusion entschlossen wir uns, eine partielle Dissoziation beider Augen durchzuführen. Insbesondere sollte der fusionsstimulierende Einfluß des roten Fixationslichts überprüft bzw. ausgeschaltet werden.

Tabelle 2

Horizontale Fusionsbreite (in Prismendioptrien) bei verschieden großen Markierungslichtern und verschieden großen Rautenfiguren (d = 10^{o}; d = $6,6^{o}$; d = $3,3^{o}$) als Fusionsobjekt.

		Rautendurchmesser (diagonal)		
		10^{o}	$6,6^{o}$	$3,3^{o}$
Vp 1 G.J.	I	-2 - +30	-2 - +42,1	-2 - +42,5
	II	-2 - +30	-2 - +40	-2 - +40
	III	-2 - +30	-2 - +45	-2 - +42,5
	IV	-2 - +42,5	-2 - +40,8	-2 - +36,7
Vp 2 H.B.	I	-6 - +35,8	-6 - + →	-6 - + →
	II	-6 - +45	-6 - +45	-7,3 - + →
	III	-6 - +38,3	-6 - + →	-6 - + →
	IV	-6 - +30	-6 - + →	-6 - + →
Vp 3 J.E.	I	-8,6 - +26,7	-12 - +28,3	-12 - +30
	II	-14,6 - +35	-13,3 - +30	-12,7 - +30
	III	-12,7 - +30	-11,8 -+28,3	-12 - +30
	IV	-11 - +28,3	-12 - +30	-12 - +30

I: Rotes zentrales Fixationslicht mit 4 perizentralen Markierungslichtern von d = 3 cm (20'24'')

II: Rotes zentrales Fixationslicht mit 4 perizentralen Markierungslichtern von d = 0,5 cm (3'26'')

III: Weißes zentrales Fixationslicht mit 4 perizentralen Markierungslichtern von d = 0,5 cm

IV: Weißes zentrales Fixationslicht mit 4 perizentralen Markierungslichtern von d = 3 cm

→: Es können alle Prismen der Prismenleiste fusioniert werden

Tabelle 3

Horizontale Fusionsbreite bei 4 Markierungslichtern von d = 0,5 cm, gemessen in pdpt.

	Vp	1	2	3	4	5	6
	Rautengröße						
I		65,3	18,0	19,0	15,0	6,0	16,0
II	$3,3^{o}$	62,8	18,0	17,7	22,2	7,8	28,3
III	$6,6^{o}$	67,0	26,0	37,8	23,0	9,3	22,0
IV	10^{o}	67,0	35,2	29,3	20,0	10,0	26,2

I: es ist nur das rote Fixationslicht erleuchtet

II-IV: die 4 Markierungslichter werden von $3,3^{o}$ bis auf 10^{o} Rautendurchmesser variiert. Das rote Fixationslicht bleibt erleuchtet

Die Werte der Tabelle 3 lassen keine eindeutige Aussage über eine Beeinflußbarkeit der Fusion durch Vergrößerung des Reizobjektes zu.

Wir wählten folgende Versuchsanordnung:
Vor das mittelständige, rote Fixationslicht wurde ein Polarisationsfilter (Polarisator) gesetzt. Der Proband trug eine Polarisationsbrille, deren linkes Glas eine horizontale und deren rechtes Glas eine vertikale Durchlassrichtung besaß.
In der Stellung A des Polarisators war das rote Fixationslicht für das rechte Auge ausgelöscht, in der Stellung B für das linke. Die Einstellungen waren vorher ausprobiert worden und an dem Polarisator markiert. Die Kontrolle für die vollständige monokulare Löschung des Rotlichtes bildete die Aussage des Probanden, bei Verschluß des fixierenden Auges kein Rotlicht mehr zu sehen.

Auf diese Weise war die (notwendige) zentrale Fixationshilfe zwar erhalten geblieben, eine von ihr ggf. verursachte Fusionsbeeinflussung aber ausgeklammert.
An drei weiteren Versuchspersonen wurde auf diese Weise die horizontale Fusionsbreite für die Rautengrößen von $3{,}3^{\circ}$, $6{,}6^{\circ}$ und 10° bestimmt.
Das Ergebnis lag in dem gleichen Streubereich, wie die Ergebnisse der vorausgegangenen Versuche (siehe T a b e l l e 4).

Tabelle 4

Horizontale Fusionsbreite bei einäugig zentraler Fixation

		Rautengröße 3,3°	6,6°	10°
Vp 1	I	-7,0 - +→	-7,0 - +→	-6,0 - +→
C 54 :	II	-8,0 - +→	-8,0 - +→	-9,0 - +→
-5,3 - +53,0	III	-8,0 - +→	-8,0 - +→	-6,0 - +→
Vp 2	I	-6,3 - + 5,4	-8,0 - + 8,7	-7,3 - + 9,7
C 54 :	II	-7,7 - + 7,0	-7,0 - + 6,3	-8,0 - + 7,3
-5,3 - + 14,0	III	-6,3 - +10,7	-8,0 - + 8,3	-7,6 - + 7,3
Vp 3	I	-2,0 - +36,7	-5,0 - +18,0	-3,0 - +→
C 54 :	II	-2,0 - +17,3	-4,0 - +23,8	-3,6 - +→
-3,5 - +54,4	III	-2,0 - +35,8	-3,3 - +30,0	-4,6 - +30,0

I : Bild wird ohne Polarisationsbrille betrachtet

II : Rotes Fixationslicht mittels Polarisation für das rechte Auge ausgelöscht

III : Rotes Fixationslicht mittels Polarisation für das linke Auge ausgelöscht

Zusätzlich ist jeweils die Fusionsbreite der Probanden am Synoptophor (C 54 = 10°) angegeben.

Versuch IV

Da BURIAN festgestellt hatte, daß sich Fusionsbewegungen, die durch periphere Netzhautreize ausgelöst werden, am zuverlässigsten bei Bildverschiebungen in vertikaler Richtung zeigen lassen, wurden unsere bisherigen Versuche noch einmal an den gleichen Probanden mit vertikal ablenkenden Prismen durchgeführt.
Die vertikale Fusionsbreite aller Probanden bewegte sich hierbei im meßbaren Bereich der Prismenleiste und so konnte der Betrag für die gesamte vertikale Fusionsbreite auch gut erfaßt werden. Die Versuchsanordnung mit den Polarisationsfiltern (rotes Fixierlicht) wurde beibehalten (T a b e l l e 5 und 6).

Um den Reiz der Fusion in vertikaler Richtung zu modifizieren, ließen wir in einer weiteren Versuchsreihe lediglich die beiden weißen Markierungslichter auf der vertikalen Schiene und das rote Fixierlicht eingeschaltet. Auf diese Weise wirkte der Reiz nur im Bereich des Netzhautmeridians, in dem die durch die Prismen provozierte Dissoziation stattfand.
Ansonsten blieb die Versuchsanordnung gegenüber der vorhergehenden unverändert (T a b e l l e 6).

Tabelle 5

Vertikale Fusionsbreite gemessen in pdpt bei 4 Markierungslichtern (d = 0,5 cm) und verschieden großen Rautenflächen.

		3,3°	6,6°	10°
Vp 1	I	5,8	5,5	4,7
	II	5,5	5,0	5,0
	III	5,0	4,8	5,0
Vp 2	I	6,5	4,7	6,5
	II	5,0	7,8	8,0
	III	5,1	4,7	5,0
Vp 3	I	2,0	1,0	1,0
	II	2,6	1,3	1,0
	III	2,0	2,0	1,3
Vp 4	I	4,2	3,8	4,0
	II	4,5	3,0	2,8
	III	3,8	2,8	4,0

I: Rautenfigur wird ohne Polarisationsbrille betrachtet; rotes Fixationslicht brennt.

II: Rotes Fixationslicht mittels Polarisationsfilters für das rechte Auge ausgelöscht

III: Rotes Fixationslicht mittels Polarisationsfilters für das linke Auge ausgelöscht.

Tabelle 6

Vertikale Fusionsbreite gemessen in pdpt bei 2 senkrecht übereinanderstehenden Markierungslichtern.

		Abstand der Reizlichter voneinander		
		3,3°	6,6°	10°
Vp 5	I	3,4	4,4	5,5
	II	4,9	7,4	7,7
	III	4,6	6,7	8,5
Vp 6	I	5,0	4,8	4,8
	II	4,3	4,4	3,7
	III	5,2	4,0	4,3
Vp 7	I	4,5	6,4	6,0
	II	5,0	6,3	5,4
	III	5,8	5,8	6,6
Vp 8	I	6,0	3,4	5,2
	II	5,3	5,8	4,8
	III	4,8	4,3	4,3
Vp 9	I	4,9	5,8	5,8
	II	4,5	5,5	5,3
	III	5,3	5,8	5,3

I: Rautenfigur wird ohne Polarisationsbrille betrachtet; rotes Fixationslicht brennt.

II: Rotes Fixationslicht mittels Polarisationsfilters für das rechte Auge ausgelöscht

III: Rotes Fixationslicht mittels Polarisationsfilters für das linke Auge ausgelöscht.

Schwankungen bei Fusionsmessungen

Wenn man nicht von den Mittelwerten aus mehreren Messungen ausgeht, sondern die einzelnen Werte betrachtet, so findet man, daß die Fusionsbreite von einer Messung zur anderen in kürzestem zeitlichen Abstand und bei jedem Auge unterschiedlich sein kann, wie das auch schon SCHMIDT (1893), FISCHER (1921), ROELOFS (1926), HERZAU (1929), SCHUBERT (1937) und JEANSCH (1954) betont haben.
Die nachstehende Tabelle 7 soll am Beispiel von 5 Personen zeigen, wie groß die Schwankungsbreite bei den drei Messungen, die wir jeweils nacheinander durchführten, war. Die Messungen wurden im Rahmen der Versuche an der Rautenfigur mit der Polarisationsbrille im verdunkelten, freien Raum durchgeführt.

Konstanz der Fusionsbreite

Neben den erwähnten Schwankungen der Einzelwerte, die bei fast allen Probanden zu finden waren, konnte aber auch in einem Fall über den Zeitraum

Tabelle 7

Schwankungen der Fusionsbreite bei 3 Messungen beim Blick in die Ferne, gemessen in pdpt.

	Vp	1	2	3	4	5
R.A.	1.	-8	-8	-10	-8	-12
	2.	-6	-8	-10	-6	-12
	3.	-6	-8	-10	-6	-10
L.A.	1.	-6	-10	-8	-6	-8
	2.	-6	-8	-6	-6	-8
	3.	-6	-10	-8	-8	-10
R.A.	1.	+55	+30	→	+50	+50
	2.	→	+30	→	+50	+65
	3.	→	+30	→	+50	+65
L.A.	1.	+45	+25	+45	+50	+50
	2.	+50	+30	+60	+50	+50
	3.	+55	+30	+65	+50	+50

von einem Jahr eine erstaunliche Konstanz der Fusionsbreite beobachtet werden.

Folgende Befunde wurden bei der Probandin H.B. aufgezeichnet:

H.B. 16.3.65, 15 Uhr

P.D. : 63 mm

F.B. mit C 54 am Synoptophor:

1. Messung -3° — $+23^{\circ}$
2. Messung -3° — $+29^{\circ}$
3. Messung -3° — $+38^{\circ}$

H.B. 23.3.66, 15 Uhr

P.D. : 63 mm

F.B. mit C 54 am Synoptophor:

1. Messung -3° — $+23^{\circ}$
2. Messung -3° — $+29^{\circ}$
3. Messung -3° — $+32^{\circ}$

Zweite Versuchsreihe

Ausgehend von der Frage, ob die Steigerung der Fusionsbreite, wie sie DODEN und PROTONOTARIOS (1960) beim Übergang von kleinen zu großen Fusionsbildern am Synoptophor (bei Kindern) gefunden haben, ihre Ursache in der Vermehrung des sensorischen Substrates, d.h. in einer Vergrößerung der vom Reizobjekt bestrichenen Netzhautfläche habe, oder ob vielleicht andere Faktoren im Spiele sind, haben wir folgende Versuchsanordnung benutzt.

An der dem Sitz des Probanden gegenüberliegenden schwarzen Wand hing im Dunkelzimmer ein weißer, rhombenförmiger Projektionsschirm mit der diagonalen Länge von 90 cm. Die senkrechte Diagonale dieses Schirms war durch einen schwarzen Strich markiert. Dieser Strich stellte einmal eine Fixationshilfe für den Probanden dar und erleichterte ihm außerdem die Beobachtung beim Auftreten der Doppelbilder. Auf der sonst leeren, weißen Fläche machte das Unscharfwerden des Striches den Probanden darauf aufmerksam, daß evtl. bei dem nächstgrößeren Prismenwert die Diplopie zu erwarten sei.

Bei diesen Versuchen stand unterhalb der früher beschriebenen Röhre, die die Störlichter abzuschirmen hatte, ein Diaprojektor, der rhombenförmige Lichtflächen in der diagonalen Ausdehnung von 5^{o} und 10^{o} auf dem Projektionsschirm entwarf.

In dieser Versuchsreihe sollte an 10 erwachsenen, normalsichtigen Probanden geprüft werden, ob durch Anbieten von größer werdenden Bildern ein proportionaler Anstieg der Fusionsbreite erzeugt werden kann.

Bei jeder Versuchsperson wurde vorher geprüft:

1. Die Fusionsbreite an der Maddoxskala im freien Raum mit der Prismenleiste; Prüfabstand 5 m; Tageslicht.
2. Die Fusionsbreite am Synoptophor
   a) mit dem Bild C 54 (10^{o})
   b) mit dem Bild C 4 ($8^{o}30'$).

Nach Ermittlung dieser Werte in der Sehschule suchte der Proband den völlig abgedunkelten Versuchsraum auf. Mit Hilfe des Projektors wurden dann rhombenförmige Lichtflächen, die dem Auge unter einem Winkel von 5^{o} und 10^{o} erschienen, angeboten.

Bei der Bestimmung der Fusionsgrenze durch abduzierende Prismen ergab sich wiederum häufig, daß die Fusionskraft des Probanden über die 45 pdpt der Prismenleiste hinausging; deshalb wurden wiederum zusätzlich Prismen von 10 oder 20 pdpt mit Hilfe eines Probierbrillengestells vorgegeben.
In der Tabelle 8 sind die Fusionsgrenzen im Sinne der Divergenz am Synoptophor und im freien Raum (abduzierende Prismen) dargestellt.
Dabei zeigt sich, daß hier die häufigste Schwankungsbreite der Probanden etwa 2 bis 4 pdpt beträgt (9 Versuchspersonen).

In der Tabelle 9 werden die Werte der Fusionsgrenze bei abduzierenden Prismen von großen Bildern ins Verhältnis gesetzt zu kleineren, also am Synoptophor Bild C 54 (10°) zu C 4 ($8^{\circ}30'$).
Im freien dunklen Raum das 10° große Bild zu dem 5° großen Bild und außerdem das 5° große Bild (Dunkelraum) zu der punktförmigen Lichtquelle am Maddox-Kreuz bei Tageslicht und das 10° große Bild im Dunkelraum zur punktförmigen Lichtquelle am Maddox-Kreuz. Der Quotient>1 bedeutet, daß die Probanden auf die größeren Bilder mit einer erweiterten Fusionsgrenze antworteten.

Tabelle 8

Fusionsgrenze am Synoptophor und im freien Raum bei abduzierenden Prismen, gemessen in pdpt.

Vp	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I C 4	5,3	5,3	5,3	5,3	13,4	5,3	7,0	9,9	8,8	3,5
II C 54	5,3	5,3	5,3	5,3	15,8	7,0	8,8	14,6	8,8	3,5
III Maddox	6,0	8,0	8,0	4,o	12,0	6,0	8,7	16,0	10,0	4,0
IV 5^{o}	6,35	8,65	8,65	2,0	12,0	6,0	6,7	6,0	10,0	4,0
V 10^{o}	6,0	7,35	9,0	4,0	14,0	6,0	3,65	6,65	11,0	4,0

I + II : Meßwerte am Synoptophor
III : Meßwerte im freien Raum bei Tageslicht am Maddox-Kreuz
IV+ V : Meßwerte im freien Raum. Dunkelraum; erleuchtet sind lediglich die weißen, rautenförmigen Reizflächen von einem Diagonaldurchmesser 5^{o} bzw. 10^{o} .

Tabelle 9

Verhältnis der Fusionsgrenzen von großen und kleinen Bildern bei abduzierenden Prismen, gemessen in pdpt.

Vp	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Synoptophor C 54 / C 4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,18	1,32	1,26	1,47	1,00	1,00
Dunkelraum 10° / 5°	0,94	0,84	1,00	2,00	1,17	1,00	1,29	1,11	1,10	1,00
Dunkelr./Hellr. 5° / Maddox	1,05	1,08	1,08	0,50	1,00	1,00	0,77	0,37	1,00	1,00
Dunkelr./Hellr. 10° / Maddox	1,00	0,92	1,13	1,00	1,17	1,00	0,99	0,42	1,10	1,00

Für die Beurteilung der Fusionsgrenze bei Einwärtsschwenkung der Augen, bestimmt durch adduzierende Prismen bzw. am Synoptophor, wurden die Werte in Tabelle 10 zusammengestellt.
Im Experiment wurden alle Meßwerte kontinuierlich nacheinander ermittelt. Sie sind nur aus Gründen der Übersichtlichkeit in getrennten Tabellen aufgeführt. Der Pfeil (→) bedeutet, daß die Fusionsgrenze nicht bestimmt werden konnte, da sämtliche Prismen der Prismenleiste nebst Zusatzprisma überwunden wurden.

Tabelle 11 zeigt die Gegenüberstellung analog der Tabelle 9. In ihr werden wieder die Werte der Fusionsgrenze für große zu kleinen Bildern ins Verhältnis gesetzt. War die Fusionsgrenze nicht bestimmbar, so ist über den Quotienten keine Aussage möglich (/).
Konnten in einem Versuch sämtliche Prismen überwunden werden und befand sich bei dem zweiten Versuch die Fusionsgrenze wieder im meßbaren Bereich, so wurde der größere Wert als der zutreffendere angesehen.

Tabelle 10

Fusionsgrenze am Synotophor und im freien Raum bei adduzierenden Prismen, gemessen in pdpt.

Vp	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I C 4	28,07	27,46	70,18	87,13	↛	87,72	85,36	84,8	60,23	74,27
II C 54	49,12	39,77	70,18	96,49	→	82,46	96,49	85,97	90,06	77,78
III Maddox	→	28,3	→	32	→	40	43,3	30	40	15,3
IV 5°	51,2	29,15	60	→	→	→	50	→	55,85	32,5
V 10°	46,2	30,8	36,7	→	→	→	43,15	→	53,35	28,3

I + II : Meßwerte am Synoptophor
III : Meßwerte im freien Raum bei Tageslicht am Maddox-Kreuz
IV+ V : Meßwerte im freien Raum. Dunkelraum; erleuchtet sind lediglich die weißen, rautenförmigen Reizflächen von einem Diagonaldurchmesser 5° bzw. 10° .

Tabelle 11

Verhältnis der Fusionsgrenzen von großen zu kleinen Bildern bei adduzierenden Prismen, gemessen in pdpt.

Vp	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C 54 / C 4	1,7	1,4	1,0	1,1	/	0,9	1,1	1,01	1,5	1,04
10° / 5°	0,9	1,05	0,6	/	/	/	0,8	/	0,95	0,81
5° / Maddox	/	1,03	/	/	/	/	0,15	/	1,39	2,01

DISKUSSION

Erste Versuchsreihe

Aufgrund der vorliegenden eigenen Untersuchungen an Personen mit normalem Binokularsehen konnte die Behauptung, daß die Fusionsfähigkeit der Netzhautperipherie die foveale Fusion stören oder überflügeln könne, nicht bestätigt werden. Auch BURIAN hatte ja in seinen letzten Arbeiten zu diesem Thema angenommen, daß eine sensorische Störung der Fovea die Voraussetzung dafür bilde, der Netzhautperipherie eine Dominanz über das Netzhautzentrum einzuräumen. Diese Feststellungen würden dann auch den Kreis derjenigen Personen, bei denen eine fusionale Prävalenz der Netzhautperipherie überhaupt zu erwarten steht, erheblich einschränken.

LYLE und FOLEY (1955) fanden in ihrer Versuchsreihe an 50 normalsichtigen Personen nur zehn bzw. achtzehn mal das Auftreten von zentraler Diplopie bei Fusionsstimulation der Netzhautperipherie (siehe Seite 75).
Daraus kann geschlossen werden, daß bei einem normalen binokularen Gesichtssinn die Foveae

wohl aufgrund ihrer allgemein dominierenden Stellung durch eine auf Bilddissoziation abzielende Reizung der Netzhautperipherie in ihrer Fusionspotenz nicht unterdrückt werden können.

Zweite Versuchsreihe

In der zweiten Versuchsreihe haben wir versucht, die Ergebnisse von DODEN und PROTONOTARIOS (1960) an zehn erwachsenen, normalsichtigen, intelligenten Personen zu reproduzieren. Die Absicht war, Funktionalzusammenhänge zwischen Reizgröße, Reizanordnung und Fusionsbreite aufzufinden.
Zu diesem Zwecke wurde die Fusionsbreite am Synoptophor mit C 4 und C 54 und anschließend mit der Prismenleiste im freien Raum bestimmt. Anschließend wurden den Probanden rhombenförmige Leuchtflächen unter dem Winkel von 5^{o} und 10^{o} projiziert. Die Ergebnisse wurden miteinander verglichen. Dabei zeigte sich, daß durch eine Vergrößerung der Bildfläche keine entscheidenden Änderungen der Fusionsbreite zu erzielen waren.

Betrachtet man die Ergebnisse von DODEN und PROTONOTARIOS, so ergibt sich bei einem Vergleich der horizontalen Fusionsbreite bei den Vierjährigen ein vierfach größerer Wert mit dem Bild von 8^{o} 30' als mit dem 1^{o} großen Bild (52,2 : 12,7). Bei den Zwölfjährigen hat sich das Verhältnis schon auf 62 : 25 vermindert. Das entspricht nur noch einer 2,5 mal so großen Fusionsbreite. Es ist anzunehmen, daß sich diese Progression - würde man sie bei zunehmendem Lebensalter weiter verfolgen - wohl den von uns gefundenen Werten annähern würde. Der Grund für diese Entwicklung wäre dann wohl in einer zunehmenden Konzentrationsfähigkeit bei steigender geistiger Entwicklung zu suchen.

Bei dieser Betrachtungsweise wäre als Schlußfolgerung zu erwarten, daß bei jungen Erwachsenen die Fusionsfähigkeit soweit gefestigt ist, daß sich die Fusionsbreite bei maximaler Innervation der Augenmuskeln schließlich nicht mehr steigern läßt.

Es ist wohl anzunehmen, daß die Steigerung der Fusionsbreite, die DODEN und PROTONOTARIOS bei ihren Versuchen beobachten konnten, nicht auf der Erhöhung des sensorischen Substrates der Netzhaut bei großen Bildern beruht, sondern auf

der Steigerung der Aufmerksamkeit durch ein vermehrtes Angebot von Einzelheiten.

In den eigenen Versuchen (homogen ausgeleuchtete Weißfläche mit einem schwarzen, vertikalen Diagonalstrich) wurde bewußt auf eine Fesselung der Aufmerksamkeit durch Bildeinzelheiten verzichtet. Das spielerische Moment, das bei Kindern eine große Rolle spielt, war bei den Probanden der vorliegenden Versuchsreihen nicht vorhanden. Auch erscheint die Aussage von Medizinstudenten, die das Problem erfaßt haben, aussagekräftiger als diejenige von vier- bis zwölfjährigen Kindern. Hierbei bleibt auch zu bemerken, daß sich die Aussagen der älteren Kinder jener unserer Probanden merklich nähern.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Arbeit gibt eine allgemeine Übersicht über das Phänomen der Fusion und über angrenzende Probleme.
Anschließend werden verschiedene eigene Versuchsanordnungen beschrieben, durch welche die Beeinflußbarkeit der fovealen Fusion durch Reizung der Netzhautperipherie geprüft werden sollte. Dabei resultierte, daß sich weder für die Größe der horizontalen noch der vertikalen Fusionsbreite eine echte Beeinflußbarkeit beobachten läßt.
Es wurde versucht, diese Ergebnisse in Einklang mit der Auffassung von BURIAN zu bringen.

Man darf annehmen, daß bei Personen ohne foveale sensorische Störung die Netzhautperipherie für den Fusionsakt von zweitrangiger Bedeutung ist. Damit soll aber die Bedeutung der peripheren Fusion für die orthoptische Behandlung, d.h. für Personen mit fovealen sensorischen Störungen keineswegs bestritten werden; eine Ansicht, die auch in der strabologischen Literatur ihren gültigen Niederschlag gefunden hat.

An zehn Versuchspersonen wird die Fusionsbreite bei Bildern im freien Raum von 5^{o} und 10^{o} Durchmesser untersucht und diese dann verglichen mit der Fusionsbreite, die am Synoptophor gefunden wurde. Dabei ergibt sich nur für zwei Probanden eine größere horizontale Fusionsbreite bei der Verwendung von größeren Testbildern. Dieses Ergebnis wird demjenigen von DODEN und PROTONOTARIOS gegenübergestellt. Das Ergebnis der beiden Autoren kann an (normalsichtigen) Erwachsenen nicht bestätigt werden. Die Annahme scheint nahezuliegen, daß die Ursache für die Steigerung der Fusionsbreite bei kleineren Kindern durch größere Bilder in einer vermehrten Erregung der Aufmerksamkeit zu suchen ist.

LITERATURVERZEICHNIS

Das Arch.Ophthal. wird ab Bd 18 als Albrecht v.Graefes Arch.Ophthal. weitergeführt.

1) Ames, A., G.H. Gliddon, K.N. Ogle — Size and Shape of Ocular Images I. Methods of Determination and Physiological Significance Arch.Ophthal.7,576-597(1932)

2) Abraham, S.V. — The Nature of Heterophorias Am.J.Ophth.34,1007-1015(1951)

3) Bauer, D. — Messende Untersuchungen über Fusionsbewegungen der Augen Diss.Med.Fak. Berlin (1949)

4) Berger, L. — Die Fusion höhendistanter und gedrehter Doppelbilder Albrecht v.Graefes Arch.Ophthal. 154,389-400(1953)

5) Behr, C. — Die funktionellen Störungen der Augenbewegungen Kurzes Handb.d.Ophthalmologie VI,232-234 Springer, Berlin (1931)

6) Beskow, A. — Die Bedeutung des Fusionsapparates für die motorische Koordination der Augen bei seitlicher Blickrichtung Acta med.scand.93, VI,602-613 (1937)

7) Best, F. Augenveränderungen bei den organisch nichtentzündlichen Erkrankungen des Zentralnervensystems
Kurzes Handb.d.Ophthalmologie VI,476-539 Springer, Berlin (1931)

8) Bielschowsky, A. Untersuchungen über das Sehen der Schielenden
Arch.Augenheilk.50,406-510 (1900)

9) " Störungen der Fusion und ihre Behandlung
Arch.Augenheilk.92,117-126 (1923)

10) " Ueber den reflektorischen Charakter der Augenbewegungen, zugleich ein Beitrag zur Symptomatologie der Blicklähmungen
Klin.Mbl.Augenheilk.45,Beiheft, 67-88(1907)

11) " Über einseitige bzw. nichtassoziierte Innervation der Augenmuskeln
Pflügers Arch.ges.Physiol. 136,658-691(1910)

12) " Über die relative Ruhelage der Augen
39.Vers.d.Ophth.Ges.Heidelberg 67-78(1913)

13) Bielschowsky, A. Die Motilitätsstörungen der Augen (I.Nachtrag) Handb.Graefe-Saemisch 8,I, 1-43(1922)

14) Bielschowsky, A., A. Ludwig Das Wesen und die Bedeutung latenter Gleichgewichtsstörungen der Augen, insbesondere der Vertikalablenkungen Albrecht v.Graefes Arch.Ophthal. 62,400-463(1906)

15) Burian, H.M. Fusional Movements Arch.Ophthal.21,486-491 (1939)

16) " Fusional Movements in Permanent Strabismus Arch.Ophthal.26,626-650(1941)

17) " The Place of Peripheral Fusion in Orthoptics Am.J.Ophth.30,1005-1010(1947)

18) " Anomalous Retinal Correspondence Am.J.Ophth.34,237-253(1951)

19) Brecher, G.A. Form und Ausdehnung der Panumschen Areale bei fovealem Sehen Pflügers Arch.ges.Physiol. 246,315-328(1942)

20) " Quantitative Studies of Binocular Fusion AmJ.Ophth.38,134-140(1954)

21) Burri,C. Process of Learning Simultaneous Binocular Vision Arch.Ophthal.28,235-244(1942)

22) Campbell, D. Binocular Vision Brit.J.Ophthal.31,321-336 (1947)

23) Charnwood, L. An Essay on Binocular Vision Hatton Press, London 1950

24) " Influence of Alcohol on Fusion Brit.J.Ophthal.34,733-736 (1950)

25) Chavasse, B. Worth's Squint Baillière, Tundall and Cox London 1939

26) Clausen, W. Über die Bedeutung der Fusion für die Entstehung des Begleitschielens nebst Bemerkungen zur Behandlung des Schielens Arch.Augenheilk.105,187-207 (1932)

27) Cords, R. Die Fusion und der Fusionszwang Kurzes Handb.d.Ophthalmologie III,459-465(1930)

28) Doden, W., P.N.Protonotarios — Über Anamnese und Augenfunktionen gesunder Kinder Klin.Mbl.Augenheilk.136, 459-475(1960)

29) Doden, W. — Die Untersuchung Schielender Bücherei des Augenarztes 38,68-115(1961)

30) Donders, F.C. — Versuch einer genetischen Erklärung der Augenbewegungen Pflügers Arch.ges.Physiol. 13,373-421(1876)

31) " — Über den Zusammenhang zwischen dem Convergieren der Sehaxen und dem Accommodationszustande der Augen Holländ.Beiträge zu den anat. u.physiol.Wiss.1,379-383(1848)

32) Eyles, M. — Barriers and Aids to Fusion Am.J.Ophthal.31,1147-1151(1948)

33) Fischer, F.P., J.W.Wagenaar — Zur Methodik der Untersuchung des Binokularsehens Ophthalmologica 103,129-142 (1942)

34) " — Binocular Vision and Fusion Movements Docum.Ophthal.7-8,359-391(1954)

35) Fischer, M.H. — Messende Untersuchung über das scheinbare Gleichhoch, Geradevorn und Stirngleich Pflügers Arch.ges.Physiol. 188,261-140(1921)

36) " — Beiträge und kritische Studien zur Heterophoriefrage auf Grund systematischer Untersuchungen Albrecht v.Graefes Arch.Ophthal. 108,251-284(1922)

37) Fowler, M.J. — Value of Orthoptic Fusion Training Exercises in Strabismus and Related Conditions Arch.Ophthal.28,507-521(1942)

38) Görtz, H. — Binokularschulung - Orthoptik Bücherei des Augenarztes 38,116-134(1961)

39) Graefe, v.A. — Beiträge zur Lehre vom Schielen und von der Schiel-Operation Arch.Ophthal.3,I,251-276(1857)

40) Graefe, jun. — Über die Störungen des gemeinschaftlichen Sehens Dtsch.Klinik, 10,82-84(1858)

41) Grafe, v.A. — Ueber musculäre Asthenopie Arch.Ophthal.8,II,314-367(1862)

42) Graefe, A. — Motilitätsstörungen Græfe-Saemisch Handb.Augenheilk. 6,IV,1-84(1880)

43) Graefe, A. Ueber die Einstellung der Augen bei Unterbrechung des binocularen Sehens
Albrecht v.Graefes Arch.Ophthal. 35,I,137-146(1889)

44) " Noch einmal "Die Convergenz-factoren"
Albrecht v.Graefes Arch.Ophthal. 35,IV,332-338(1889)

45) " Ueber Fusionsbewegungen der Augen beim Prismaversuche
Albrecht v.Graefes Arch.Ophthal. 37,I,243-257(1891)

46) Guillery, H. Über den Einfluß von Giften auf die Fusionsbewegungen der Augen
Pflügers Arch.ges.Physiol. 79,597-641(1900)

47) Hallden, U. Fusional Movements in Anomalous Correspondence
Uppsala 1952

48) Hamburger, F.A. Stellungsanomalien
Der Augenarzt III,824-946
Thieme, Stuttgart (1960)

49) Helmholtz, H. Über die Augenbewegungen
Heidelberger Jb-r d.Literatur 58,II,255-259(1865)

50) Helmholtz, H. Physiologische Optik (1896)

51) " Die Augenbewegungen Handb.Physiol.Optik III,34-105(1910)

52) Hering, E. Vom binokularen Tiefensehen Beitr.z.Physiol.5,287-347 (1846)

53) " Die Lehre vom binokularen Sehen Leibzig, 1868

54) " Ueber die Rollung des Auges um die Gesichtslinie Arch.Ophthal.15,1-16(1869)

55) " Der Raumsinn und die Bewegungen des Auges Hermans Handb.d.Physiol. 3,I,343-602(1879)

56) Herman, L. Kleine physiologische Bemerkungen und Anregungen Pflügers Arch.ges.Physiol. 65,599-605(1897)

57) Herzau, W. Über das Verhältnis von erzwungener Vertikaldivergenz und Rollung bei Fusion Albrecht v.Graefes Arch.Ophthal. 122,59-74(1929)

58) Herzau, W. — Horror fusionis und Aniseikonie nach Trauma. Klin.Mbl.Augenheilk.109,193-196 (1943)

59) " — Neuere Erkenntnisse auf dem Gebiet des Binokularsehens. Wiss.Z.d.Karl-Marx Univ. Leibzig,3.Jahrg. Math.-Naturw. Reihe,1(1953/54)

60) " — Horror fusionis und Konvergenzexess bei Anisometropie und Aniseikonie. Klin.Mbl.Augenheilk.137,781-785 (1960)

61) Hoeve, van der J. — Operationen an den Augenmuskeln. Graefe-Saemisch Handb.Augenheilk. II,1587-1598(1922)

62) Hofmann, F.B., A. Bielschowsky — Über die der Willkür entzogenen Fusionsbewegungen der Augen. Pflügers Arch.ges.Physiol. 80,1-39(1900)

63)Hofmann, F.B. — Einige Fragen der Augenmuskelinnervation. Ergeb.Physiol.2,II,799-817 (1903)

64) Hofmann, F.B. Physiologische Optik (Raumsinn) Augenbewegungen Graefe-Saemisch Handb.Augenheilk.3,II,259-350(1925)

65) Holland, G. Tonische Erscheinungen bei Fusionsbewegungen der Augen Albrecht v.Graefes Arch.Augenheilk.159,529-539(1958)

66) " Untersuchungen über den Einfluß der Fixationsentfernung und der Blickrichtung auf die horizontale Heterophorie Albrecht v.Graefes Arch.Augenheilk.160,144-160(1958)

67)Jaensch, P.A. Fusionsstörungen, Horror fusionis und Konvergenzspasmen Klin.Mbl.Augenheilk.111,142-149 (1945/46)

68) " Diagnose und Therapie des Schielens Bücherei des Augenarztes, H.24 Enke, Stuttgart (1954)

69) " Diskussionsbeitrag zu Protonotarios: Binokulare Funktion gesunder Kinder Klin.Mbl.Augenheilk.133,433(1958)

70) Jampolsky, A. Retinal Correspondence in Patients with Small Degree Strabismus Arch.Ophthal.45,18-25(1951)

71) Junker, H. Über die Häufigkeit von Heterophorien und ihren Einfluß auf das stereoskopische Sehvermögen Albrecht v.Graefes Arch.Augenheilk. 142,367-388(1940)

72) Keiner, G.J.B. New Viewpoints on the Origin of Squint s'Gravenhage, Nighoff (1951)

73) Koster, W. Zur Kenntnis der Mikropie und Makropie Albrecht v.Graefes Arch.Augenheilk. 42,III,134-178(1896)

74) Kries, v.J. Augenbewegungen (Anmerkungen) Handb.Physiol.Optik III,105-129 (1910)

75) Krimsky, E. The Management of Binocular Imbalance 207-213,Lea and Febinger, Philadelphia (1948)

76) Krusius, F. Zur Analyse und Messung der Fusionsbreite Arch.Augenheilk.61,204-251(1908)

77) Lau, E. — Neue Untersuchungen über das Tiefen- und Ebenensehen Zschr.Sinnesphysiol.35(1921) (zitiert nach Ogle (92))

78) Leopoldsberger, W. — Über die Beeinflußbarkeit des Fusionsvermögens durch äußere Faktoren Wien.klin.Wschr.36,474-487(1942)

79) Lyle, T.K., J. Foley — Subnormal Binocular Vision with Special Reference to Peripheral Fusion Brit.J.Ophthal.39,474-487(1955)

80) Lyle, T.K., Jackson — Praktische Orthoptik in der Behandlung des Schielens Urban u.Schwarzenberg (1957)

81) Lyle, T.K., G.J.O.Bridgeman — Worth and Chavasse's Squint Baillière, Tindall and Cox 9.Edition, London (1959)

82) Monjé, M. — Unwillkürliche Augenbewegungen Der Augenarzt I,472-474 Thieme, Stuttgart (1958)

83) Mügge, F. — Über anomale Sehrichtungsgemeinschaft bei Strabismus convergens Albrecht v.Graefes Arch. Augenheilk.79,1-41(1911)

84) Mütze, K. — ABC der Optik Dausien, Leipzig (1961)

85) Nagel, A. — Das Sehen mit Zwei Augen
Leibzig und Heidelberg (1861)

86) " — Ueber das Vorkommen von wahren Rollungen des Auges um die Gesichtslinie
Arch.Ophthal.14.II,228-246(1868)

87) " — Die optische Einstellung des Auges und ihre Verbindung mit der binocularen Fixation
Graefe-Saemisch Handb.Augenheilk. 6,IV,446-503(1880)

88) Nagel, W. — Ungewöhnliche Augenbewegungen
Handb.Physiol.3,321-323(1904)

89) Ogle, K.N. — Die mathematische Analyse des Längshoropters
Pflügers Arch.ges.Physiol. 239,748-766(1938)

90) " — Induced Size Effect
I A New Phenomenon in Binocular Space Perception Associated with the Relative Size of the Images
Arch.Ophthal,20,604-623(1938)

91) " — Induced Size Effect
II An Experimental Study of the Phenomenon with Restricted Fusion Stimuli
Arch.Ophthal.21,604-625(1939)

92) Ogle, K.N., F. Mussey, A.de H.Prangen — Fixation Disparity and the Fusional Process in Binocular Single Vision Am.J.Ophthal.32,1069-1087(1949)

93) Ogle, K.N. — Researches in Binocular Vision 59-101, Saunders Philadelphia and London (1950)

94) Ogle, K.N., A. de H.Prangen — Further Considerations of Fixation Disparity and the Binocular Fusional Processes Am.J.Ophthal.34,57-72(1951)

95) Ogle, K.N. — Spatial Localization Through Binocular Vision aus The Eye, IV, 271-348 Acad.Press, New York, London (1962)

96) " — Some Considerations of Fusion in Binocular Vision and in Oculomotor Imbalance aus The Oculomotor System New York (1964)

97) Ohm, J. — Auf welcher Bahn spielt sich die Fusion ab? Z.Augenheilk.81,142-149(1933)

98) " — Sexuelle Unterlagen von Nystagmus und Fusionsstörungen Albrecht v.Graefes Arch.Augenheilk.146,672-674(1944)

99) Panum, P. — Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen Kiel (1858)

100) Pieper, H. — Über die Abhängigkeit des Reizwertes leuchtender Objekte von ihrer Flächen- bzw. Winkelgröße Z.Psychol.u.Physiol.Sinnesorg. 32,98-112(1903)

101) " , H.F. — Die Schielkrankheit Albrecht v.Graefes Arch.Augenheilk.148,555-616(1948)

102) Reddingius, R.A. — Das sensumotorische Sehwerkzeug Engelmann, Leibzig (1898)

103) " — Die Fixation Z.Psychol.u.Physiol.Sinnesorg. 21,417-432(1899)

104) Roelofs, C.O., W.P.C.Zeeman — Über den Wettstreit der Konturen Albrecht v.Graefes Arch.Augenheilk.99,79-104(1919)

105) Roelofs, C.O. — Die Fusionsbewegungen der Augen Arch.Augenheilk.97,229-257(1926)

106) Roelofs, C.O., W.P.C.Zeeman — Optische Augenbewegungen und Richtungsempfindung Arch.Augenheilk.98,238-270(1928)

107) Roelofs, C.O. Binoculair Zien en Fusiebewegingen
Symposion over Strabismus
Ned.Oogh.Gez,Amsterdam (1943)
zitiert nach 34

108) Roenne, G. The Basic Principles in Squint Treatement
Acta ophthal.(Kbh) 32,681-700 (1954)

109) " The Physiological Basis of Sensory Fusion
Acta ophthal.(Kbh) 34,1-26(1956)

110) Sachsenweger, R. Sensorische Fusion und Schielen
Albrecht v.Graefes Arch.Augenheilk.159,502-528(1958)

111) " Physiologie und Klinik der Anomalien des Stereoskopischen Sehens
Wiss.Z.d.Karl-Marx Univ.Leibzig
8.Jahrg.Math.-Naturw.Reihe
2,233-242(1958/59)

112) Schmidt, G. Über die Fusionszeitverteilung im Blickfeld
Diss.Med.Fak.Kiel (1957)

113) Schmidt-Rimpler,H. Zeitbestimmung bezüglich der Fusion künstlich erzeugter Doppelbilder
Albrecht v.Graefes Arch.Augenheilk.
26,I,115-121(1880)

114) Schmidt, W. — Ueber relative Fusionsbreite bei Hebung und Senkung der Blickebene
Albrecht v.Graefes Arch.Augenheil 39,IV,232-256(1893)

115) Schneller — Zur Lehre von dem Zusammensehen mit beiden Augen dienenden Bewegungen
Albrecht v.Graefes Arch.Augenheil 38,I,71-117(1892)

116) " — Beiträge zur Theorie des Schielens
Albrecht v.Graefes Arch.Augenheil 36,III,138-179(1890)

117) Schubert, G. — Notiz über das Rindenfeld für einseitige Augenbewegungen beim Hunde
Pflügers Arch.ges.Physiol. 222,765-769(1929)

118) " — Der intraokulare Fusionsmechanismus
Albrecht v.Graefes Arch.Augenheil 137,506-509(1937)

119) Schubert, G., H.Burian — Die Fusionsreaktion, eine bisher unbekannte Reaktion der Pupille
Pflügers Arch.ges.Physiol. 238,184-186(1937)

120) Schubert, G. — Augenbewegungen und optische Lokalisation
Ergebn.Physiol.45,423-471(1944)

121) " — Die Abhängigkeit der binokularen Fusion von zentralen Impulsfrequenzen
Wien.Z.Nervenheilk.4,61-65(1952)

122) Scobee, R.G., E.L. Green — Tests for Heterophoria
Am.J.Ophthal.30,436-451(1947)

123) " — Relationship between Lateral Heterophoria, Prismvergence and the Near Point of Convergence
Am.J.Ophthal.31,472-441(1948)

124) " — Further Studies in the Relationship between Heterophoria and Prismvergence
Am.J.Ophthal.34,401-404(1951)

125) Sherrington, C.S. — Integrative Action of the Nervous System
Yale Univ.Press, New Haven (1906)

126) Simon, R. — Zur Lehre von der Entstehung der koordinierten Augenbewegungen
Z.Psychol.u.Physiol.Sinnesorg. 12,102-130(1896)

127) Stevens, G.T. — Die Anomalien der Augenmuskeln
Arch.Augenheilk.18,445-458(1888)

128) Swan, K.G. — The Nature of Normal Binocular Vision - The Fusional Process Strabismus Ophthalmic Symposium II,106-115 C.V.Mosby Comp.St.Louis (1958)

129) Tschermak, v.A. — Optischer Raumsinn Bethes Handb.norm.u.path.Physiol. 12,II,961(1931)

130) " — Augenbewegungen ebenda, 1067-1084

131) Verhoeff, F.H. — A New Theory of Binocular Vision Arch.Ophthal.13,151-175(1935)

132) Weckert, F. — Über die Fusion Albrecht v.Graefes Arch.Augenheilk.140,553-560(1939)

133) Weekers, R., P. Daenen — Mesure du champ de fusion binoculaire, mesure du champ du regard Bull.Soc.Belge Ophthal. 103,219-231(1953)

134) Wilbrand, H., A. Saenger — Die optischen Reflexe Neurologie des Auges 3,I,344-352 Bergmann, Wiesbaden (1904)

135) Winkelmann, J.E. — The Motor Impulse Elicited by the Retinal Stimulus and the Binocular Optical Reflexes Brit.J.Ophthal.33,629-635(1949)

136) Winkelmann, J.E. Peripheral Fusion
Arch.Ophthal.45,425-430(1951)

137) " Central and Peripheral Fusion
Arch.Ophthal.50,179-183(1953)

138) Worth, C. Das Schielen
übers.von E.H.Oppenheimer
Springer, Berlin (1905)

LEBENSLAUF

Am 11.8.1939 wurde ich als erstes Kind des Studienassessors Albert Johannknecht und seiner Ehefrau Lieselotte, geborene Pagel, in Stantin, Kreis Stolp in Pommern geboren.

Im September 1947 trat ich in die Volksschule in Berlin - Klein Machnow ein. Nach meiner Übersiedelung nach Dortmund in Westfalen trat ich Ostern 1951 in die Sexta des Schiller - Mädchengymnasiums ein.

Ab Ostern 1957 besuchte ich das Neusprachliche Gymnasium in Neheim - Hüsten in Westfalen, wo ich am 10.März 1960 die Reifeprüfung ablegte.

Das Medizinstudium begann ich an der Freien Universität Berlin, die ich nach dem Vorphysikum wieder verließ, um für vier Semester nach Tübingen zu gehen, wo ich das Physikum bestand. Das zweite klinische Semester verbrachte ich in Wien.

Seit dem dritten klinischen Semester studierte ich an der Medizinischen Fakultät der Universität des Saarlandes in Homburg, wo ich am 15.Dezember 1965 das Medizinische Staatsexamen ablegte.

Die Approbation erhielt ich am 17.April 1969.